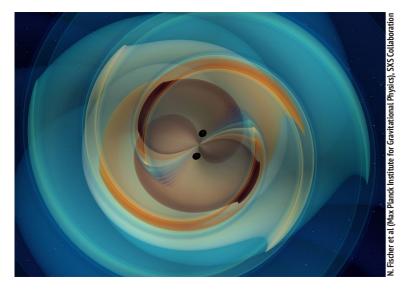
№ **13 (357)** 12 июля 2022 года

газета, выпускаемая учеными и научными журналистами



# РЕГИСТРАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН: астрофизический аспект

Гравитационно-волновые обсерватории регистрируют слияние двойных черных дыр, иногда — слияние нейтронных звезд, иногда — слияние нейтронных звезд, иногда — слияние нейтронных звезд с черными дырами. Сколько слияний уже известно? Что мы знаем об этих объектах? Откуда они возникли? Почему их массы часто неортодоксальны? **Борис Штерн** побеседовал с **Константином Постновым**, членом-корреспондентом РАН, директором Государственного

астрономического института имени Штернберга МГУ. Сам процесс регистрации — фантастически интересный и сложный, но это — тема для отдельного разговора. Надеемся устроить интервью с одним из членов команды LIGO и VIRGO.

Беседу Бориса Штерна с Константином Постновым читайте на стр. 2–4

На илл.: изображение на основе численного моделирования слияния двух черных дыр, зарегистрированного 21 мая 2019 года

# **Злокачественная** шпиономания

1 июля стало известно, что Новосибирский областной суд признал законным заключение под стражу 54-летнего физика Дмитрия Колкера, умершего от рака поджелудочной железы через несколько дней после ареста по делу о госизмене. Защита намерена обжаловать это решение. Адвокат ученого Александр Федулов отметил, что тело Дмитрия Колкера до сих пор не выдают родственникам по бюрократическим причинам [1].

Дмитрий Колкер был заведующим лабораторией квантовых оптических технологий физического факультета Новосибирского государственного университета и научным сотрудником Института лазерной физики Сибирского отделения РАН, докт. физ-мат. наук, автором 112 научных работ.

28 июня был арестован 75-летний Анатолий Маслов, профессор Новосибирского госуниверситета и Новосибирского государственного технического университета, глав. науч. сотр. Института теоретической и прикладной механики СО РАН. По сведениям журналистов, специалиста в области динамики вязкого газа подозревают в передаче Китаю данных, связанных с гиперзвуком [2].

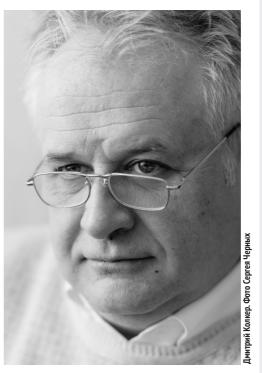
В апреле 2021 года, в день космонавтики, по статье о госизмене был арестован Валерий Голубкин, профессор МФТИ, сотрудник Центрального аэрогидродинамического института имени Жуковского, а в декабре 2020 года — его начальник Анатолий Губанов. Адвокаты сообщали, что их задержание связано с участием в международном проекте по разработке гиперзвукового пассажирского лайнера HEXAFLY-INT (High-Speed EXperimental FLY Vehicles — INTernational) [3].

Более года в СИЗО «Лефортово» провел Виктор Кудрявцев, ведущий специалист Центрального научно-исследовательского института машиностроения. Он был арестован в июле 2018 года, так как, по версии следствия, передавал секретные сведения о применении гиперзвуковых технологий в боевых ракетных комплексах «Авангард» и «Кинжал» в Фон-Кармановский институт гидродинамики в Брюсселе, с которым ЦНИИмаш сотрудничал в рамках программы FP7-SPACE [4]. Ученый болел диабетом и раком легкого. В сентябре 2019 года в связи с состоянием здоровья его выпустили под подписку о невыезде. Кудрявцев скончался 29 апреля 2021 года в возрасте 77 лет.

В мае 2020 года по тому же делу был арестован Роман Ковалёв, ученик Виктора Кудрявцева, заместитель заведующего кафедрой космических летательных аппаратов Московского физико-технического института (МФТИ) и начальник Центра теплообмена и аэрогазодинамики ЦНИИмаш. Он также был освобожден из СИЗО по состоянию здоровья и умероколо двух недель спустя, в апреле 2022 года, от рака четвертой стадии [5].

A. O.

- 1. tass.ru/proisshestviya/15179745
- 2. academ.info/news/science-and-education/20323/
- 3. kommersant.ru/doc/4996337
- 4. kommersant.ru/doc/3850609
- 5. t.me/deptone/3113



### Заявление о Дмитрии Борисовиче Колкере

Клуб «1 июля» выражает соболезнования и глубокое сочувствие родным, близким и коллегам Дмитрия Борисовича Колкера, скончавшегося 2 июля 2022 года в московской больнице, куда он был доставлен из следственного изолятора.

Клуб «1 июля» выражает решительный протест против действий следственных органов в отношении доктора физико-математических наук Д.Б. Колкера. Он был арестован 30 июня в Новосибирске по обвинению в государственной измене и перевезен в СИЗО «Лефортово». Ему вменялось в вину прочтение нескольких лекций для китайских студентов в 2018 году.

Следует обратить внимание на два очень существенных обстоятельства.

- 1. По имеющимся у нас сведениям, все лекции прошли предварительную экспертизу (акт экспертизы [1] приложен к данному заявлению) и получили разрешение на вывоз за границу как не содержащие сведений, составляющих государственную тайну. Это обычная практика при выступлении российских ученых с докладами на зарубежных конференциях и семинарах или с лекциями в университетах.
- 2. Д.Б. Колкер был арестован на больничной койке в Новосибирске и увезен в следственный изолятор «Лефортово» (Москва) в состоянии IV (терминальной) стадии рака поджелудочной железы (находился на искусственном кормлении). Это бесчеловечное действие

следственных органов грубо нарушает элементарные принципы гуманизма.

Мы возмущены тем, что тяжелобольной человек был помещен под стражу (онкология IV стадии входит в состав Постановления правительства № 3 о медосвидетельствовании подозреваемых и перечне тяжелых заболеваний, препятствующих содержанию под стражей, от 14.01.2011), и считаем, что порядок расследования дел о государственной измене создает неприемлемо высокие риски для проведения научных работ российскими учеными, в первую очередь по наиболее важным для России научным направлениям. Как выясняется, несмотря на экспертные заключения, подтверждающие отсутствие сведений ограниченного доступа в материалах, публикуемых в научных журналах и представляемых на конференциях и семинарах, а также в лекциях для студентов, по неизвестным причинам решения экспертных комиссий могут быть в дальнейшем проигнорированы, а исследователи обвинены в разглашении государственной тайны и даже государственной измене.

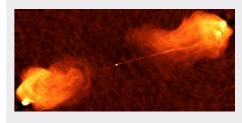
Мы требуем привлечь к ответственности виновных в смерти нашего коллеги.

Клуб «1 июля»

ллеги.

1. 1 julyclub.org/sites/default/files/file/aktekspertizy.jpg

#### в номере



#### Гамма-астрономия от альфы до омеги

Обширный очерк **Бориса Штерна** с поучительной историей в конце — cmp. 5–7



#### Шары, матроиды, простые числа...

Объявлены лауреаты премии Филдса стр. 7

#### Адепт стационарной Вселенной

**Виталий Мацарский** рассказывает об открытиях и заблуждениях астрофизика Томаса Голда — стр. 8

#### Моральные дилеммы Лео Силарда

О венгерском физике повествует **Валерий Лесов** — стр. 9–10

#### Градусник для динозавра

**Юрий Угольников** анализирует причуды теплокровности и холоднокровности — стр. 11



#### Плодотворные каникулы

**Евгений Беркович** — об открытии волновой механики и реакции коллег Эрвина Шрёдингера — стр. 12–15

#### «Мой "Самсунг" на четырех ногах и с рогами»

Новые миниатюры **Александра Мещерякова** — стр. 16

#### По следам халявы

Лингвистическая колонка **Марии Молиной** — стр. 16

Актуальные новости и обзоры текущих событий — в наших аккаунтах на:

facebook.com/trvscience, t.me/trvscience, vk.com/trvscience, twitter.com/trvscience

Интервью с Константином Постновым, членомкорреспондентом РАН, директором ГАИШ МГУ. Вопросы задавал Борис Штерн.

- Начнем со статистики. Уже несколько лет работает обсерватория LIGO. Дальше присоединилась VIRGO... что сейчас есть в сухом борис Штерн

остатке? Сколько событий? Какие там массы? Какие типы сливающихся объектов?

USA

Virgo

Pisa

Italy

Рис. 1

Я пару слов все-таки скажу о действующих обсерваториях (рис. 1). Две обсерватории — в Соединенных Штатах (LIGO); одна в Италии (французско-итальянский проект VIRGO); одна в Японии (установка KAGRA), но она пока в инженерном режиме. Сеансы наблюдений длятся около года. Их было уже три. В первом сеансе работала только LIGO, во втором сеансе подключилась VIRGO, в третьем сеансе LIGO и VIRGO работали вместе. Третий сеанс закончился в марте 2020 года в связи с коронавирусом немного раньше, чем планировалось. Возобновить работу должны в мартеапреле 2023 года. В настоящее время обсерватории находятся в состоянии длительного технического осмотра и улучшения чувствительности.

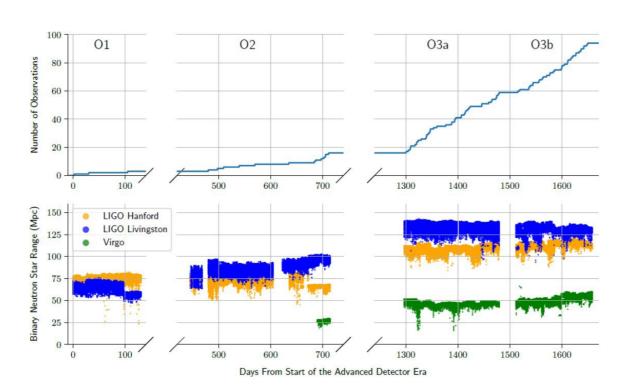
Главный параметр этих обсерваторий — их чувствительность. Что такое чувствительность? Ее принято измерять в максимальном расстоянии, с которого можно зарегистрировать слияние двух нейтронных звезд с массой  $1,4 \, \text{M}_{\odot}$  на уровне отношения «сигнал/ шум», равном 8. Это четкое определение «горизонта видимости». Очевидно, что гравитационно-волновые сигналы тем мощнее, чем больше масса сливающихся компактных объектов, и чем больше масса, тем дальше горизонт видимости. Поскольку горизонт видимости пропорционален амплитуде гравитационных волн, принимаемый сигнал (т. е. амплитуда возмущений метрики), который регистрируют гравитационно-волновые детекторы, пропорционален определенной комбинации масс, так называемой чирпмассе, в степени 5/6. Фактически линейная зависимость - чуть меньше, чем линейная. (Chirp – «чириканье» по-английски, так часто называются сигналы с возрастающей частотой и амплитудой, об этом подробнее дальше.) Так, для слияния двух черных дыр массой 14 М расстояние видимости примерно в семь раз больше.

На нижней панели на рис. 2 показан горизонт видимости для разных детекторов. На верхней панели - кумулятивное число регистрируемых событий как функция времени; они отсчитываются в днях после первого детектирования. (Напомню, первое детектирование было 14 сентября 2015 года.) Первый сезон длился около 130 дней, было зарегистрировано меньше 10 событий. Второй сезон длился с 400-го по 750-й день. там уже около 20 событий. Наконец, после перерыва, который длился около полутора лет, на 1300-й день после первого детектирования начался третий сезон наблюдений, и число детектируемых событий резко пошло вверх. В течение года примерно каждые два-три дня было детектирование на уровне «сигнал/шум» 8. Здесь показаны только те события, которые зарегистрированы надежно. Есть еще разного рода подпороговые события. Процедура регистрации нетривиальная, очень интересная, над ней работают сотни высококлассных специалистов. Для нас важно, что на конец марта 2020 года было зарегистрировано около 100 надежных событий, причем горизонт видимости в первом сеансе был около 60 мегапарсек — по космическим меркам совсем рядом: включает, конечно, ближайшее скопление Девы, но неРегистрация гравитационных волн:

астрофизический аспект

**KAGRA** Hanford Kamioka Japan LIGO Livingston **USA** 

Credit: LVC collab., Univ. of Tokyo



GW status

Рис. 2. Горизонт видимости (снизу) и число надежно зарегистрированных событий для трех сеансов. По горизонтали — дни с регистрации первого события

Event	$m_1/{ m M}_{\odot}$	$m_2/\mathrm{M}_{\odot}$	$\mathcal{M}/\mathrm{M}_{\odot}$	Xeff	$M_{\rm f}/{ m M}_{\odot}$	$a_{\mathrm{f}}$	$E_{\rm rad}/({ m M}_{\odot}c^2)$	$\ell_{\rm peak}/({\rm erg}{\rm s}^{-1})$	$d_L/\mathrm{Mpc}$	z	$\Delta\Omega/\text{deg}^2$
GW150914	35.6+4.8	$30.6^{+3.0}_{-4.4}$	28.6+1.6	$-0.01^{+0.12}_{-0.13}$	$63.1^{+3.3}_{-3.0}$	$0.69^{+0.05}_{-0.04}$	$3.1^{+0.4}_{-0.4}$	$3.6^{+0.4}_{-0.4} \times 10^{56}$	430+150	$0.09^{+0.03}_{-0.03}$	180
GW151012	$23.3^{+14.0}_{-5.5}$	$13.6^{+4.1}_{-4.8}$	$15.2^{+2.0}_{-1.1}$	$0.04^{+0.28}_{-0.19}$	$35.7^{+9.9}_{-3.8}$	$0.67^{+0.13}_{-0.11}$	$1.5^{+0.5}_{-0.5}$	$3.2^{+0.8}_{-1.7} \times 10^{56}$	1060+540	$0.21^{+0.09}_{-0.09}$	1555
GW151226	$13.7^{+8.8}_{-3.2}$	$7.7^{+2.2}_{-2.6}$	$8.9^{+0.3}_{-0.3}$	$0.18^{+0.20}_{-0.12}$	$20.5^{+6.4}_{-1.5}$	$0.74^{+0.07}_{-0.05}$	$1.0^{+0.1}_{-0.2}$	$3.4^{+0.7}_{-1.7} \times 10^{56}$	$440^{+180}_{-190}$	$0.09^{+0.04}_{-0.04}$	1033
GW170104	$31.0^{+7.2}_{-5.6}$	$20.1^{+4.9}_{-4.5}$	$21.5^{+2.1}_{-1.7}$	$-0.04^{+0.17}_{-0.20}$	$49.1^{+5.2}_{-3.9}$	$0.66^{+0.08}_{-0.10}$	$2.2^{+0.5}_{-0.5}$	$3.3^{+0.6}_{-0.9} \times 10^{56}$	960+430	$0.19\substack{+0.07 \\ -0.08}$	924
GW170608	$10.9^{+5.3}_{-1.7}$	$7.6^{+1.3}_{-2.1}$	$7.9^{+0.2}_{-0.2}$	$0.03^{+0.19}_{-0.07}$	$17.8^{+3.2}_{-0.7}$	$0.69^{+0.04}_{-0.04}$	$0.9^{+0.05}_{-0.1}$	$3.5^{+0.4}_{-1.3} \times 10^{56}$	$320^{+120}_{-110}$	$0.07^{+0.02}_{-0.02}$	396
GW170729	$50.6^{+16.6}_{-10.2}$	$34.3^{+9.1}_{-10.1}$	$35.7^{+6.5}_{-4.7}$	$0.36^{+0.21}_{-0.25}$	$80.3^{+14.6}_{-10.2}$	$0.81^{+0.07}_{-0.13}$	$4.8^{+1.7}_{-1.7}$	$4.2^{+0.9}_{-1.5}\times10^{56}$	$2750^{+1350}_{-1320}$	$0.48^{+0.19}_{-0.20}$	1033
GW170809	$35.2^{+8.3}_{-6.0}$	$23.8^{+5.2}_{-5.1}$	$25.0^{+2.1}_{-1.6}$	$0.07^{+0.16}_{-0.16}$	$56.4^{+5.2}_{-3.7}$	$0.70^{+0.08}_{-0.09}$	$2.7^{+0.6}_{-0.6}$	$3.5^{+0.6}_{-0.9}\times10^{56}$	$990^{+320}_{-380}$	$0.20^{+0.05}_{-0.07}$	340
GW170814	$30.7^{+5.7}_{-3.0}$	$25.3^{+2.9}_{-4.1}$	$24.2^{+1.4}_{-1.1}$	$0.07^{+0.12}_{-0.11}$	$53.4^{+3.2}_{-2.4}$	$0.72^{+0.07}_{-0.05}$	$2.7^{+0.4}_{-0.3}$	$3.7^{+0.4}_{-0.5} \times 10^{56}$	580+160	$0.12^{+0.03}_{-0.04}$	87
GW170817	$1.46^{+0.12}_{-0.10}$	$1.27^{+0.09}_{-0.09}$	$1.186^{+0.001}_{-0.001}$	$0.00^{+0.02}_{-0.01}$	≤ 2.8	$\leq 0.89$	≥ 0.04	$\geq 0.1\times 10^{56}$	$40^{+10}_{-10}$	$0.01^{+0.00}_{-0.00}$	16
GW170818	$35.5^{+7.5}_{-4.7}$	$26.8^{+4.3}_{-5.2}$	$26.7^{+2.1}_{-1.7}$	$-0.09^{+0.18}_{-0.21}$	$59.8^{+4.8}_{-3.8}$	$0.67^{+0.07}_{-0.08}$	$2.7^{+0.5}_{-0.5}$	$3.4^{+0.5}_{-0.7}\times10^{56}$	$1020^{+430}_{-360}$	$0.20^{+0.07}_{-0.07}$	39
GW170823	$39.6^{+10.0}_{-6.6}$	$29.4^{+6.3}_{-7.1}$	29.3+4.2	$0.08^{+0.20}_{-0.22}$	$65.6^{+9.4}_{-6.6}$	$0.71^{+0.08}_{-0.10}$	$3.3^{+0.9}_{-0.8}$	$3.6^{+0.6}_{-0.9} \times 10^{56}$	1850+840	$0.34^{+0.13}_{-0.14}$	1651

Рис. 3. События, зарегистрированные в первом сеансе 01. Колонки: название события, масса 1, масса 2, чирп-масса, эффективный спин, конечная масса, момент вращения конечного объекта, излученная энергия, пиковая мощность излучения, фотометрическое расстояние, красное смещение, телесный угол локализации

дотягивает до гигантского скопления Кома. Во втором сеансе - уже около 90 мегапарсек, и, наконец,

> мерно 120 мегапарсек, что уже включает скопление галактик Кома. Повторяю, это для двойных нейтронных звезд, т. е. близко к нижней границе. Для черных дыр это число надо умножать на чирп-

в третьем сеансе - при-

**Постнов** массу в степени 5/6. А если вы хотите брать объем, то полученный результат должны возвести в куб. Поэтому число событий начинает расти почти как куб массы для больших масс. В этом была основная идея нашей работы [1], [2] и ожидания других авторов, например [3]: черные дыры более массивны, чем нейтронные звезды, и с учетом этого фактора, несмотря на то что в локальном объеме число слияний двойных нейтронных звезд в единицу времени в расчете на одну массу галактики гораздо больше, чем число слияний черных дыр, получается гигантское преимущество для очень массивных сливающихся объектов, потому что горизонт видимости растет примерно как куб массы, и этот фактор перебивает локальную редкость массивных объектов (двойных черных дыр).

#### Какой рекорд по расстоянию?

– Рекорд – уже космологические расстояния. Расстояния в космологии бывают разные. Бывают расстояние метрическое, по угловому размеру и расстояние фотометрическое - т. е. когда вы расстояние измеряете по потоку излучения, который приходит к вам от стандартного источника. Расстояние, которое оценивается из ГВ-наблюдений, — это фотометрическое расстояние, и для некоторых самых массивных слияний оно уже порядка 3-4 гигапарсека. Это далеко. Хаббловский радиус — это 4 гигапарсека. То есть уже с данным уровнем чувствительности для массивных сливающихся двойных черных дыр мы фактически подходим к красным смещениям порядка единицы, а это уже космологические расстояния.

Конечно, всё это с большими ошибками. На рис. 3 вы видите таблицу: даже в первых наблюдениях расстояния – до 3 мегапарсек (красное смещение около 0,5). Это гигантские расстояния. Но почему? Ведь определенным сюрпризом было то, что из-за фактора большой массы первыми зарегистрировали очень массивные сливающиеся черные дыры. Их существование, разумеется, было возможно, но вся локальная астрофизика в нашей Галактике говорила о том, что кандидаты в черные дыры имеют массы около 10-15 масс Солнца. А тут самый первый объект уже 30 масс Солнца. Это открытие породило десятки новых идей о происхождении таких объектов.

Все до сих пор официально зарегистрированные события изображены на рис. 4. По оси абсцисс — время в секундах, а по оси ординат — частота сигнала. Характерный сигнал — чирпсигнал – имеет вид синусоиды с увеличивающейся амплитудой и одновременно увеличивающейся частотой. Почему? Потому что, когда сливаются две компактные звезды, у них по третьему закону Кеплера возрастает орбитальная частота и резко возрастает амплитуда ГВ-сигнала. По своей форме такой сигнал похож на частотную характеристику крика птицы, по-английски chirp. Примеры чирпсигналов, которые мы видим на рис. 4, все однотипные. Однако важно не то, что детекторы что-то зарегистрировали (хотя это само по себе, безусловно, гигантское достижение), а какую информацию можно извлечь из анализа этого сигнала. Эта информация оказывается очень богатой. Первое, что определяется. — чирп-масса сливающейся двойной системы, именно она определяет амплитуду сигнала. Для двух точечных масс т₁ ▶

ightharpoonup и  $m_2$  и полной массы  $M=m_1+m_2$  чирп-масса вычисляется по формуле:

# $\mathcal{M} = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{M^{1/5}}$

Амплитуда ГВ-сигнала определяется чирп-массой, частотой и обратно пропорциональна фотометрическому расстоянию. Чирп-масса — наиболее точно определяемая величина. Отдельные массы компонент оценить уже гораздо сложнее - чирп-масса определяется из ГВ-сигнала на стадии сближения (inspiralling) до того, как эти компоненты слились. Само слияние - это сильно нелинейный процесс, который рассчитывается путем численного решения уравнений Эйнштейна на суперкомпьютерах. Из анализа формы сигнала от двух сливающихся черных дыр таким образом определяют чирп-массу системы, массу и момент вращения образовавшейся черной дыры. (Заметим, что финальная масса будет меньше, чем масса двух компонентов – до 10% этой массы уходит в гравитационное излучение при объединении горизонтов черных дыр.) Финальная масса определяется с хорошей точностью.

На рис. 3 представлены чирп-масса, массы отдельных компонентов, масса после слияния и спин образующейся черной дыры - т. е. момент импульса черной дыры, образующейся после слияния, и он определяется с очень хорошей точностью. Это замечательный факт: орбитальное движение сливающихся компонент переходит в спин. Спин (параметр Керра) около 0,7 — это заметное вращение. Кстати, по сигналу на стадии до слияния также определяется так называемый эффективный спин – это сумма проекций спинов каждого сливающегося объекта на орбитальный момент импульса, перпендикулярный плоскости орбиты, деленная на сумму масс. Если сливаются две шварцшильдовские (невращающиеся) черные дыры, то, очевидно, эффективный спин должен быть равен нулю. Но из того факта, что эффективный спин равен нулю, не следует, что сливаются объекты с нулевым спином. Почему? Потому что спин это векторная величина, и могут сливаться два объекта, спины которых лежат в плоскости орбиты. Тогда их проекция на плоскость орбиты равна нулю, и эффективный спин тоже равен нулю. Поэтому довольно нетривиально извлечь из значения эффективного спина информацию о спине каждого из сливающихся объектов. Более того, есть случаи, когда эффективный спин оказывается отрицательным. Это означает, что взвешенная проекция суммарных спинов на момент импульса отрицательна. Когда это может быть? Когда один из спинов противонаправлен орбитальному моменту импульса, а второй или нулевой, или, например, лежит в орбитальной плоскости, и тогда суммарная проекция спинов на орбитальный момент количества движения будет отрицательной. Это достаточно нетривиальный факт. Представьте себе: сливаются две черные дыры со спинами, которые почему-то противонаправлены. Как такую конфигурацию сделать в реальной астрофизике – отдельный вопрос.

Наконец, в отличие от электромагнитных сигналов, по принимаемому потоку ГВ от сливающейся двойной системы можно одновременно оценить расстояние до объекта. Что касается области локализации источника на небе, то только из анализа ГВ-сигналов она определяется с плохой точностью — сотни и тысячи квадратных градусов. ГВ-интерферометры имеют близкую к сферически-симметричной диаграмму направленности, поэтому локализовать источник можно методом триангуляции по задержке времени прихода сигнала на три

#### Gravitational-Wave Transient Catalog

Detections from 2015-2020 of compact binaries with black holes & neutron stars

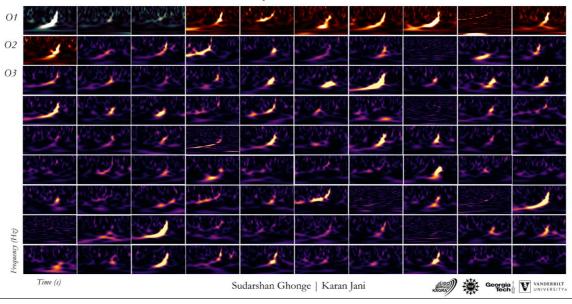


Рис. 4. Частотные характеристики зарегистрированных событий. По горизонтали — время, по вертикали — частота

детектора (этим методом пользуются, например, при локализации источников гамма-всплесков космическими детекторами с широкими диаграммами).

Получаются бананообразные области — десятки, сотни, иногда тысячи квадратных градусов. Поэтому просто с помощью гравитационных волночень сложно локализовать конкретный источник. Нужна какая-то дополнительная информация. Это возможно только в случае, когда идет дополнительный электромагнитный сигнал. Был пока единственный случай во время регистрации слияния двойной нейтронной звезды. Но об этом отдельно.

На рис. 5 указаны наиболее яркие события третьего сеанса ОЗ. Хорошо виден разброс определяемых чирпмасс, отношений масс, эффективных спинов. В среднем эффективные спины находятся вблизи нуля, хотя есть отдельные выбросы. У некоторых источников определяется ненулевая проекция эффективного спина на плоскость орбиты (параметр chi\_p). Эта проекция определяет прецессию орбиты: согласно ОТО, если сливаются две черные дыры с вращением, то сама орбита из-за эффекта Лензе – Тирринга начинает прецессировать. Этот эффект определяется тем, насколько спины объектов наклонены по отношению к вектору орбитального момента количества движения.

Ну, и последнее — расстояние в гигапарсеках. Здесь видны рекордно далекие расстояния, свидетельствующие о больших красных смещениях.

17 августа 2017 года состоялась первая регистрация слияния двойной нейтронной звезды, которое сопровождалось электромагнитным излучением. В третьем сеансе зарегистрировано четыре слияния нейтронной звезды и черной дыры, а остальные события (около 90) — двойные черные дыры.

На рис. 6 — официальная таблица с сайта LIGO, она очень информативная. В ней просуммированы наши знания о двойных компактных объектах. В основном это двойные черные дыры (примерно 90 штук); одна - точно двойная нейтронная звезда (GW170817), еще один кандидат на двойную нейтронную звезду (GW190425) и четыре пары — нейтронная звезда плюс черная дыра (на основании соотношения масс). Желтым кружком обозначены двойные нейтронные звезды. Первое зарегистрированное слияние — 17 августа 2017 года, массы — 1,5 M<sub>о</sub> и 1,3 M<sub>о</sub>; это слияние двух нейтронных звезд на близком расстоянии от нас, около 40 мегапарсек. Второе зарегистрированное слияние нейтронных звезд -25 апреля 2019 года, массы здесь побольше: 2  $M_{\odot}$  и 1,4  $M_{\odot}$ . Предполагают, что это слияние двух нейтронных звезд, потому что массы соответствуют диапазону масс известных нейтронных звезд. Поскольку источник находился

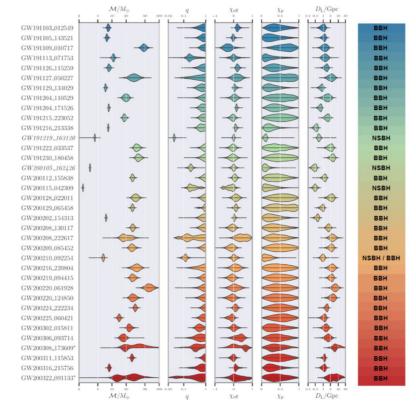


Рис. 5. Яркие события третьего сеанса. Закрашенные фигуры показывают область ошибок. Последняя колонка: BHBH — двойная черная дыра, NSBH — черная дыра и нейтронная звезда, NSNS — двойная нейтронная звезда (Copyright: LIGO/Virgo)

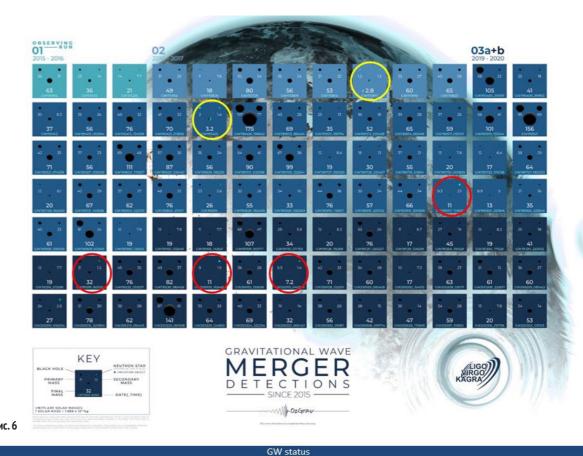
на расстоянии примерно 150 мегапарсек, в электромагнитном диапазоне ничего не было зарегистрировано. Но даже авторы оригинальной работы [4], в которой рассказывается о детектировании этого источника, не исключают, что это может быть, например, черная дыра малой массы и нейтронная звезда.

Красными кружками обозначены четыре кандидата смешанного типа: черная дыра и нейтронная звезда. У всех них один компонент массивный (черная дыра) второй — маломассивный (около или менее  $2\,{\rm M}_{\odot}$ ) Хочется думать, что второй компонент — нейтронная звезда, потому что это допустимая масса нейтронной звезды, чисто эмпирически. Мы знаем из астрофизики, что максимальная масса нейтронных звезд, которая измерена в двойных радиопульсарах, — примерно 2,1 М<sub>о</sub>. Теория позволяет нейтронным звездам иметь массы до 2,5  ${\rm M}_{\odot}$  Зарегистрировано также слияние двух объектов с массой 31 М и 1,2 М Скорее всего, второй объект — нейтронная звезда, но, опять-таки, для такого вывода нет никаких других указаний, кроме массы. В третьем источнике — массы  $9 \, \text{M}_{\odot} \, \text{и} \, 1,9 \, \text{M}_{\odot}$ ; тоже, скорее всего, черная дыра и нейтронная звезда. И последний источник — 20.01.15: 6  ${\rm M}_{\odot}$ и 1,4 М<sub>о</sub>. Малая масса — достаточно убедительный аргумент, что второй компонент – нейтронная звезда, хотя не исключена возможность, что это другие объекты (например, маломассивные черные дыры, странные звезды и т. д.).

— Мы имеем больший массив данных. Почти сто совершенно разных событий. Как это описать астрофизически? Откуда берутся сливающиеся пары? Почему они сливаются? Откуда берутся огромные массы? Это рождение двух массивных черных дыр из двух массивных звезд? Или нужно привлекать какие-то еще механизмы?

— Это самый широко обсуждаемый аспект проблемы. Из таблицы на рис. 6 видно, что есть черные дыры с массой около  $10~{\rm M}_{\odot}$ , а есть черные дыры с массами около  $50~{\rm M}_{\odot}$ . Есть источник, где у одного объекта масса  $65~{\rm M}_{\odot}$ , а у другого — вообще под  $100~{\rm M}_{\odot}$ ! Намечается четкое разделение на подклассы черных дыр по массам. Почему так? Как я уже сказал, наблюдения рентгеновских источников с кандидатами в черные дыры в нашей Галактике

Окончание см. на стр. 4



-----

Окончание. Начало см. на стр. 2-3

говорят о том, что там все-таки массы около  $10 \, \text{M}_{\odot}$ , и сразу хочется сказать, что двойные черные дыры с массами около 10 М<sub>⊙</sub> образуются из эволюции массивных звезд. Похожим образом это происходит у нас в Галактике.

Что касается очень больших масс, то здесь вопрос нетривиальный. Дело в том, что в эволюции очень массивных звезд имеются определенные проблемы и неопределенности. Пока не существует надежной модели образования черных дыр. Мы знаем, что они есть, это непреложный факт, но процесс их формирования, оказывается, довольно непростой. Почему? Возьмем массивную звезду солнечного состава. Уже на стадии горения водорода (на главной последовательности, это самая длительная стадия эволюции звезды) идет очень большая потеря массы в виде звездного ветра. Это приводит к тому, что половина или даже больше массы звезды просто «сдувается» давлением излучения, и образующийся компактный остаток имеет массу  $15-20 \text{ M}_{\odot}$ . И все этому очень радовались, потому что это соответствует массам тех черных дыр, которые мы наблюдаем в нашей Галактике. Но как только мы начинаем уходить на далеких красных смещениях в галактики с пониженным содержанием химических элементов тяжелее гелия («металлов» по астрономической лексике), звездный ветер становится менее эффективным, потому что основной механизм сдувания массы звезды - это давление излучения в резонансных линиях металлов, поэтому оптические и УФ-фотоны очень эффективно взаимодействуют с ионами и передают свой импульс веществу. Например, в Большом Магеллановом облаке уже в несколько раз меньше тяжелых химических элементов. Когда тяжелых химических элементов меньше, звезда сохраняет большую массу практически на всем протяжении своей эволюции, и, естественно, хочется думать, что она может дать и более массивную черную дыру. Но тут возникают проблемы...

На рис. 7 показана по оси абсцисс масса звезды на главной последовательности (до 300  $M_{\odot}$ ), а по оси ординат — финальная масса компактного остатка. Для солнечного химсостава – самая нижняя кривая, дает массы черных дыр до 20 M<sub>о</sub>. Как только уменьшается содержание тяжелых химических элементов (металлов), остатки становятся всё более и более массивными. Самая верхняя прямая линия — когда нет звездного ветра и звезда целиком в конце эволюции коллапсирует в черную дыру. Диапазон возможностей очень большой, и, казалось бы, надо радоваться, сказать: «Вот, хорошо, эти массивные звезды когдато родились из еще не обогащенной металлами межзвездной среды на ранних этапах звездообразования в галактиках, там-то и возникли массивные черные дыры». Но и здесь есть подводные камни, они известны еще с 1960-х годов, когда разрабатывалась теория эволюции звезд.

Главные параметры, определяющие физическое состояние вещества пература и плотность. Они определяют тип и темп термоядерных реакций. Из стандартной физики следует, что, когда центральная температура больше, чем примерно 700 млн К (а чем массивнее звезда, тем больше ее центральная температура, это знал еще Кельвин в XIX веке), становятся возможны процессы рождения электронпозитронных пар при взаимодействии двух гамма-квантов. Начинается фазовый переход, при котором упругость вещества, которая противостоит сжатию гравитацией, уменьшается. Это означает, что гравитация при образовании электрон-позитронных пар начинает очень сильно сжимать ядро звезды (состоящее после стадии глав-

ной последовательности уже в основном из гелия). При сжатии растут плотность и температура, и в ядре могут начаться ядерные реакции, которые смогут остановить сжатие, ядро звезды немного расширится и охладится (эффект «отрицательной теплоемкости» звезд), и начнутся пульсационные процессы. Пульсации в ядре приведут к тому, что наружу пойдут ударные волны, и вещество звезды начнет сбрасываться, а это приведет к тому, что в конце эволюции не сможет образоваться черная звезда большой массы. Более того: если масса гелиевой звезды находится в диапазоне от 60 М до 130 М (есть связь между массой гелиевого ядра и начальной массой звезды), этот процесс приводит к тому, что, как только началось образование электрон-позитронных пар, сжатие настолько сильное, что ядерные реакции горения кислорода и углерода приводят к взрыву без остатка. И только начиная с массы гелиевых ядер 130 М электрон-позитронные пары уже не способны предотвратить взрыв, разносящий звезду без остатка. Таким образом, возникает знаменитый пробел масс черных дыр между 60  ${\rm M}_{\odot}$  и 130  ${\rm M}_{\odot}$ . Там много интересных деталей, моделей, расчетов, тонны литературы... Но важно, что фундаментальная физика (а в теории эволюции звезд фактически нет слабых мест, нет оснований ей не доверять) предсказывает отсутствие черных дыр с массами дыр между 60 М и 130 М<sub>о</sub> в результате эволюции массивных звезд

масса оказалась в этом пробеле. Это удивительно. Может быть, это кварковая странная звезда? Тогда нет проблемы с массой. Может быть, это нестандартная система из необычной популяции с большим отношением масс? Возможно, система сформировалась из иерархической тройной системы: массивная тесная двойная система плюс менее массивная третья звезда. В ходе эволюции двойная система слилась в черную дыру с массой 26 M<sub>o</sub>, а менее массивная «подтянулась» позднее. Такой сценарий тройной системы довольно популярен. Он привлекается для объяснения происхождения источника 19.05.21. Есть конкурирующая гипотеза, согласно которой такие массивные черные дыры образуются динамически в плотных звездных скоплениях. Гипотеза имеет право на существование, есть основания из анализа наблюдаемых параметров двойных черных дыр Уже на классическом (ньютоновском) уровне можно показать, что в плотном шаровом скоплении из первоначальных массивных звезд возникают затравочные черные дыры, а потом они начинают сливаться и образуют более массивные объекты. При этом можно получать любые комбинации масс и, более того, спинов. Вращающиеся черные дыры сливаются, потом захватывают динамически еще одну черную дыру, и получается широкий диапазон масс, спинов, отношений масс. Этот динамический сценарий активно развивается. Есть согласие в том, что более точные определения

 $Z = 10^{\circ}$  $Z = 10^{-1}$  $Z = 10^{-3}$  $Z = 2 \times 10^{-2}$  $Z = 2 \times 10^{-3}$ 250 200 150 (M<sub>☉</sub>) Final 100 150 MZAMS(Mo)

Рис. 7. По горизонтали — исходная масса звезды, по вертикали — масса черной дыры, образованной в результат коллапса звезды. Параметр Z — массовое содержание элементов тяжелее гелия (arXiv: 2206.15392)

А мы что видим? Двадцать первого мая 2019 года зарегистрировано слияние двух объектов, и одна масса не менее 85  $M_{\odot}$ , а другая — 66  $M_{\odot}$ . Про вторую еще можно сказать, что она на краю этого зазора, с учетом ошибок это еще можно допустить. Но первая масса ровно посередине этого зазора. Возникает вопрос, как образуются такие массивные черные дыры. Нужно сказать, что у этой конкретной системы еще и спин большой. Массивная компонента еще и вращается быстро! Это тоже нетривиально, тоже надо как-то уметь объяснить.

В общем, начинаются вопросы... Кратко перечислим наиболее яркие примеры. Начнем с более раннего объекта: 14 августа 2019 года. Массы 26 М и 2,6 М Масса менее массивного компонента находится вблизи верхней границы масс нейтронных звезд, но предполагают, что это черная дыра. Думают, что есть еще пробел масс черных дыр между 2,5  ${\rm M}_{\odot}$ (верхним пределом Оппенгеймера – Волкова) и 5  $M_{\odot}$ . А в этом источнике

спинов и масс сливающихся двойных черных дыр помогут различить различные сценарии. И наконец, последний пример — событие 19.04.12. Двойная черная дыра с компонентами в 30  ${\rm M}_{\odot}$  и 8  ${\rm M}_{\odot}$ . Вроде бы ничего особенного, но у звезды с массой 30 М<sub>⊙</sub> очень большой спин, рекордный: а = 0,44. Это явно не шварцшильдовская черная дыра. Почему у большинства зарегистрированных сливающихся черных дыр спин мал, а у нее - большой? После регистрации каждого необычного источника пишутся десятки статей, где предлагаются сценарии происхождения этих объектов, вычисляется частота, с которой такие события должны регистрироваться на данном уровне чувствительности детекторов. И наконец, можно привлекать достаточно необычные эволюционные сценарии. Например, для ускорения сближения широкой двойной системы ее можно погрузить в плотное газовое окружение. Как известно, в центрах галактик расположены сверхмассивные чер-

ные дыры, они подпитываются веществом, которое имеет дискообразную структуру. Мы видим это на примере ядра галактики М87. Это достаточно плотный газовый диск. Если в нем оказалась двойная черная дыра, она будет быстрее сливаться из-за взаимодействия с этим газом. Некоторые астрофизики активно развивают эту гипотезу. Но для доказательства мы должны видеть, что слияние происходит вблизи центра галактики. Пока

Кроме того, есть гипотеза, совсем выходящая за рамки стандартной астрофизики: часть этих черных дыр могут происходить вообще не из звезд. Для образования черной дыры необходимо, чтобы некое количество материи оказалось внутри соответствующего шварцшильдовского радиуса. Это могло происходить в ранней Вселенной из-за первичных флуктуаций [5]. Известны модели, в которых первичные черные дыры могут иметь массу 10, 20, 30, 50 и даже 10 000 М<sub>о</sub>. Такие первичные черные дыры могли образоваться в эпоху даже до первичного нуклеосинтеза, в эпоху фазового перехода КХД с температурой около 100 МэВ. Но первичные черные дыры в простейшем варианте должны быть шварцшильдовскими. В этих моделях нет жестких ограничений на отношения масс, динамически можно образовать двойные первичные черные дыры с большим отношением масс. Можно найти условия, при которых образуются первичные черные дыры 80 M<sub>o</sub>, 100 M<sub>o</sub>. Возникает очень интересная возможность того, что часть черных дыр, которые мы видим, имеет первичное происхождение. Наверное, это одно из самых любопытных следствий, которое будет проверяться дальнейшими наблюдениями. Потребуется лучшая статистика, более точное определение параметров, а для этого нужно повысить чувствительность детекторов. Это одна из главных мотиваций для улучшения чувствительности действующих и будущих ГВ-детекторов.

И наконец, два примера слияния нейтронной звезды и черной дыры. Что тут удивительного? Происхождение таких систем нужно уметь объяснить эволюционно или динамически. Но у последнего источника, 20.01.15, эффективный спин уж очень отрицательный. Это означает, что у черной дыры спин противоположно направлен орбитальному моменту импульса. Как такое может быть? Привлекаются всякие хитрые механизмы. Либо в шаровом скоплении они возникли динамически, либо в двойной системе во время образования черной дыры происходит какойто мощный процесс, который позволяет поворачивать момент импульса. На этот счет имеются разные гипотезы, но пока мы, по сути дела, подгоняем модели под такие наблюдения.

Ну, и совсем уже напоследок — источник GW170817, двойная нейтронная звезда. О ней можно говорить очень долго. Почему? Потому что вслед за ГВ-слиянием наблюдался электромагнитный сигнал во всех диапазонах спектра, от радио- до гамма-диапазона. Отсюда было получено огромное количество данных по физике и астрофизике слияния двух нейтронных звезд. Это настоящая жемчужина среди всех наблюдений. По регистрации ЭМ-сигнала можно сказать, в какой галактике находится источник. Можно увидеть, что осталось после слияния двух нейтронных звезд. В ходе слияния часть вещества выбрасывается в виде релятивистского джета, и при удачной ориентации наблюдается гамма-всплеск. С другой стороны, при слиянии выбрасывается вещество, переобогащенное тяжелыми элементами, которые радиоактивно распадаются и при этом нагреваются, что приводит к наблюдению эффекта «килоновой». В этих процессах рождаются многочисленные так называемые г-элементы, включая золото, платину, уран... Поэтому в будущих наблюдениях очень важно зарегистрировать как можно большее число сливающихся двойных нейтронных звезд

В четвертом сеансе О4 горизонт видимости для двойных нейтронных звезд будет от 160 до 190 мегапарсек у LIGO и до 115 мегапарсек у VIRGO. Подключится японский детектор KAGRA. За два года работы детекторы LIGO/Virgo дважды зарегистрировали двойную нейтронную звезду. В четвертом сеансе горизонт видимости увеличивается в 1,5 раза. Возводим в куб... Получается, что за год ожидается регистрация пяти – семи сливающихся двойных нейтронных звезд с колоссальными последствиями для всей астрофизики. Все с нетерпением ожидают марта 2023 года. Начнется регистрация новых слияний двойных нейтронных звезд и черных дыр... При слиянии черной дыры и нейтронной звезды очень важно соотношение масс. Если оно меньше 5, возможен приливный разрыв нейтронной звезды черной дырой с образованием диска вокруг черной дыры; тогда тоже могут возникнуть электромагнитные явления, гамма-всплески и так далее. А горизонт видимости для очень массивных черных дыр будет колоссальный, фактически вся Вселенная. Если мы вдруг увидим двойную черную дыру большой массы на расстоянии, где не было никаких звезд (на красных смещениях выше 20-30), то какой вывод отсюда следует? Она может быть только первичной. Это очень важный вопрос. Будем думать, смотреть, следить.

- Прозвучало утверждение, что просматривается две популяции в массах сливающихся черных дыр: 10-20 и более тяжелые. Насколько это явно? И не связано ли это с разными сценариями образования — парные системы и шаровые скопления?
- Да, именно эта дихотомия сейчас обсуждается очень активно. Если бы всё шло по одному сценарию, мы бы ожидали более плавный переход от одних масс к другим. Это касается эволюции звезд в массивных двойных системах. Для динамического сценария ситуация сложнее, однако тоже должно быть более плавное распределение источников по массам. Что касается экзотического сценария первичных черных дыр, там уже нужны специальные ухищрения, чтобы делать две группы черных дыр с разными массами. Законы природы, конечно, такого не запрещают, но это потребует введения дополнительных параметров. Есть ощущение, что мы наблюдаем смесь объектов из разных эволюционных каналов. Пока не прекращаются попытки описать всё одним сценарием, мы и сами их предпринимали (см., например, нашу работу [6]), но уже сейчас данные ГВ-наблюдений указывают на необходимость привлечения комбинации различных сценариев. Конечно, это усложняет картину, но природа устроена не слишком просто. Тем интереснее работать.
- 1. Lipunov V.M., Postnov K.A. Prokhorov M.E. Formation and coalescence of relativistic binary stars: the effect of kick velocity // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. 288. Iss. 1. June 1997. P. 245-259. doi.org/10.1093/mnras/288.1.245
- 2. Lipunov V.M., Postnov K.A. and Prokhorov M.E. First LIGO Events: Binary Black Holes Mergings // New Astronomy. 1997. 2. P. 43-52.
- 3. Tutukov A.V., YungelSon L.R. The merger rate of neutron star and black hole binaries // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 260, Iss. 3. February 1993. P. 675-678. doi.org/10.1093/mnras/260.3.675
- 4. Abbot et al. //ApJL 2020. 899. ld L3.
- 5. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Релятивистская астрофизика. М.: Наука,
- 6. Dolgov A.D. et al. On mass distribution of coalescing black holes // JCAP. 2020.12(2020)017. iopscience.iop.org/ article/10.1088/1475-7516/2020/12/017

#### Телескопы для гамма-квантов

В этом очерке граница будет отодвинута вверх из методических соображений. Существует довольно неудобный диапазон энергий — от сотен КэВ до десятков МэВ, когда трудно определить направление прилета фотона. В области мягких гамма-квантов, тем не менее, получено много интересных результатов, касающихся вспышечных явлений, в частности гаммавсплесков. Они отлично выделяются по времени прилета фотонов и гораздо хуже - по направлению. Где-то начиная с десятков МэВ уже худо-бедно работают трековые детекторы: фотон рождает электрон-позитронную пару, направление полета и энергия которой отслеживаются трековыми детекторами. Чем выше энергия, тем лучше их разрешение. Такие детекторы могут видеть на небе отдельные стационарные источники. Чем выше энергия, тем лучше эти источники отделяются друг от друга.

Атмосфера Земли непрозрачна для гамма-квантов (как и для рентгеновских), поэтому трековые детекторы приходится запускать в космос. Король среди подобных детекторов космический гамма-телескоп «Ферми». Основная часть инструмента - трековый детектор весом около 2 тонн. Обычная конструкция: пластины конвертора (вольфрам) перемежаются с позиционно-чувствительными детекторами (скрещенные полупроводниковые полоски). Заявленный порог по энергии – 20 МэВ, но эффективность при такой энергии очень низкая, угловое разрешение ужасное. Реально можно работать с энергиями выше 100 МэВ.



# Гамма-астрономия и поучительный эпизод

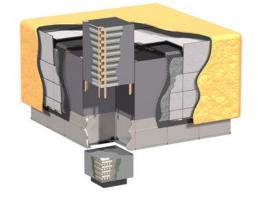
Борис Штерн

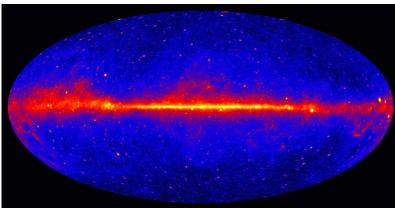
Эта статья продолжает тему, поднятую в интервью с моим давним соавтором Юрием Поутаненом, опубликованном в прошлом выпуске ТрВ-Наука [1]. Там речь шла о рентгеновской астрономии. Теперь коротко — о гамма-астрономии в плане личных впечатлений и некоторого опыта работы в этой области. Где граница между рентгеновским и гамма-излучением? Исторически она проходит в районе сотен килоэлектронвольт — это характерная энергия гамма-квантов, испускаемых при ядерных реакциях. Помните: альфа-лучи, бета-лучи, гамма-лучи.

С другой стороны, проблемы начинаются при энергии фотонов выше 200 ГэВ. Угловое разрешение при таких энергиях прекрасное — доли градуса, но двухтонный детектор уже не может собрать всю энергию от электромагнитного ливня. Формально детектор функционирует до 1 ТэВ и даже

Рис. 1. Схема детектора большой площади — основного инструмента гаммаобсерватории «Ферми». Отдельно показаны слоеные модули — пластины вольфрама, перемежающиеся с полупроводниковыми

детекторами





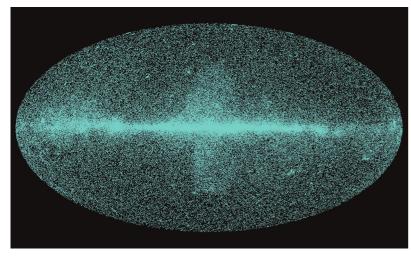


Рис. 2. Небо «Ферми» в обработанном виде (сверху, с сайта «Ферми») и в сыром, где каждая точка соответствует гамма-кванту энергии выше 5 ГэВ (снизу, изображение автора). На сыром изображении «пузыри Ферми» (реликт былой активности центра Галактики) видны даже лучше

выше, но при энергии выше 200 ГэВ вылезают систематические ошибки в спектрах гамма-излучения. И всё же «Ферми» хорошо работает в диапазоне энергий шириной в три порядка величины. Другое преимущество «Ферми» — он за полтора часа сканирует всё небо, так что если гдето что-то произошло и длилось более полутора часов — телескоп это зафиксирует. Его эффективная площадь — около квадратного метра, телесный угол обзора — два стерадиана — рекордные величины для космического трекового детектора.

Но из космоса прилетают и ТэВ-ные, и более энергичные гамма-кванты. Для них «Ферми» не только слишком тонок, но и слишком мал по площади, чтобы собрать достаточно ТэВ-ных фотонов. Тут требуются большие наземные установки. Гамма-кванты не долетают до по-

верхности Земли - все они взаимодействуют в верхних слоях атмосферы. Однако они дают ливень из электронов и позитронов, которые излучают черенковский свет, и этот свет уже виден с поверхности. Этот эффект используется в так называемых черенковских телескопах. Их можно располагать на уровне моря, так как атмосфера прозрачна для черенковского излучения. И каскад, и черенковский свет от него направлены близко к линии прилета первичного гамма-кванта, что способствует высокому угловому разрешению телескопа. Однако поле зрения у них довольно узкое, поэтому они не могут делать обзоров неба, приходится ограничиваться наблюдениями за выбранными объектами. В крупных установках (H.E.S.S., VERITAS, MAGIC) используется сразу несколько телескопов. Эффективная площадь таких установок — от гектара до нескольких, то есть на четыре с лишним порядка больше, чем у «Ферми». У черенковских телескопов нет принципиальных ограничений по энергии сверху, но довольно высок порог регистрации. Например, у H.E.S.S. заявлен порог 30 ГэВ, но, как правило, реальный порог лежит в районе 100 ГэВ. Существует грандиозный проект CTA (Cherenkov Telescope Array), который превзойдет существующие системы на порядок. Это будут два массива телескопов в Южном и Северном полушариях, их эффективная площадь будет составлять многие десятки гектар.

С недавних пор работает и другой тип детектора ТэВ-ных космиче-

ских гамма-квантов: массив водных черенковских детекторов, расположенных в высокогорье, куда добивает хвост электромагнитного каскада от первичного гамма-кванта высокой энергии. Здесь тоже регистрируется черенковский свет, но тот, что излучается не в верхних слоях атмосферы, а в водных резервуарах. Самый крупный детектор такого типа HAWC (High Altitude Water Cherenkov Experiment) pacnoложен на склоне потухшего вулкана в Мексике на высоте 4100 метров. По эффективной площади (гектары) HAWC сравним с крупнейшими массивами черенковских телескопов, уступает им в угловом разрешении (что не очень существенно), зато несравненно превосходит в отношении поля зрения, составляющего 2 стерадиана. Благодаря вращению Земли HAWC мониторит чуть ли не половину всего неба.

## Откуда берутся гамма-кванты в космосе?

Процессы гамма-излучения в астрофизике в основном те же, что и у рентгена, за вычетом теплового и квазитеплового происхождения и с одним добавлением. Главные процессы синхротронное излучение электронов, комптоновское рассеяние фотонов на электронах (точнее, обратное комптоновское рассеяние — электрон высокой энергии «толкает» мягкий фотон, переводя его в гамма-диапазон). Добавляется взаимодействие протонов больших энергий с веществом: самый эффективный канал рождение π<sup>0</sup>, распадающихся на два гамма-кванта.

Объекты, где происходит излучение гамма-квантов, - ударные волны от взрывов сверхновых и от пульсарного ветра, сами пульсары, квазары, микроквазары, гамма-всплески. Самый яркий пример гамма-источника, связанного с недавним взрывом сверхновой (он наблюдался на Земле в 1054 году), — Краб. Он используется как эталон яркости, причем спектр источника разделяется на два: спектр самой туманности и спектр пульсара. Разделение делается «стробоскопическим» методом: пульсар излучает короткие импульсы частотой около 30 герц. Хронометраж импульсов известен: смотрим время прилета фотона; если оно не совпадает с импульсом - добавляем его к спектру туманности; если совпадает - к спектру пульса-

#### Рис. 3. Черенковские телескопы установки H.E.S.S.

ра. Спектр туманности – степенной, он тянется до очень высоких энергий и используется в качестве эталона для калибровки космических детекторов гамма-квантов. Спектр пульсара завален к высоким энергиям, что типично для всех гаммапульсаров. Это практически общее правило: в очень компактном объекте сильно подавлено излучение энергичных фотонов (несколько ГэВ и выше). Это связано с непрозрачностью среды: фотоны поглощаются, рождая электрон-позитронные пары. Для пульсаров в основном работает канал рождения пар на сильном магнитном поле, для квазаров рождение пар при взаимодействии с мягкими фотонами света, которых там более чем достаточно.

Перейдем к квазарам. Вероятно, все читатели знают, что квазар гигантская аккрецирующая (растущая за счет падения вещества) черная дыра. У типичного квазара есть два впечатляющих атрибута: аккреционный диск и джет. Первый светит, как правило, в ультрафиолете; рекордная светимость дисков превышает  $10^{47}$  эрг/с, что в тысячу раз больше полной светимости нашей Галактики. Гамма-квантов диск практически не излучает, разве что его корона излучает жесткий рентген. Второй атрибут еще поразительней – джет, релятивистская струя замагниченной плазмы. Именно джеты излучают мошнейшие потоки гамма-квантов. Когда джет направлен на наблюдателя, тот видит невероятный поток гамма-квантов, зачастую идущий с расстояний более десяти миллиардов световых лет, иногда затмевающий яркие галактические объекты. Такой объект называется блазаром, то есть разница между квазарами и блазарами – исключительно в ориентации их джетов. Блазаров гораздо меньше, но они гораздо сильней бросаются в глаза. Об этих объектах расскажем ниже, а сейчас — пару слов о диффузном гамма-излучении.

На гамма-карте неба выделяется галактический диск, где видны как дискретные источники, так и плавно распределенное излучение, которое исходит от протонов (с примесью ядер) высоких энергий, которыми накачана Галактика. Протоны ускоряются в ударных волнах, связанных в основном с остатками сверхновых, и запутываются в магнитном поле Галактики, где достаточно долго летают по сложной траектории. Время от времени протоны сталкиваются с частицами межзвездной среды, излучая гамма-кванты. Но есть еще изотропное гамма-излучение явно внегалактического происхождения. Здесь работает другой механизм. Во-первых, непрерывный фон дает множество слабых блазаров, не разрешенных по отдельности. О них сказано ниже. Во-вторых, протоны сверхвысоких энергий взаимодействуют с фотонами реликтового излучения, рождая электрон-позитронные пары, которые, в свою очередь, «комптонизуют», то есть «толкают» те же фотоны реликтового излучения, закидывая их в гамма-диапазон.

# Насыщающиеся и голодающие блазары

Поток гамма-квантов от блазаров по мощности достигает  $10^{50}$  эрг/с, если считать, что источник изотропен. Это предположение, конечно, неверно: блазар светит прямо на нас, как луч прожектора, и реальная мощность порядка на три ниже, что всё равно на три порядка превосходит полную светимость нашей Галактики.

Окончание см. на стр. 6–7

#### ΗΑ ΠΕΡΕΔΗΕΜ ΚΡΑΕ

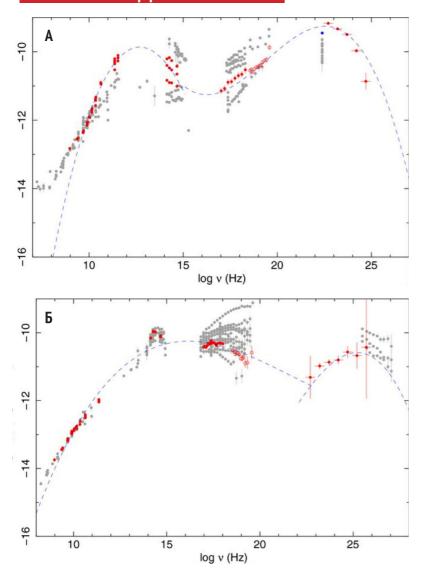


Рис. 4. Спектральное распределение энергии двух блазаров разных типов. Сверху (А) — мощнейший насыщающийся блазар 3С454.3. Снизу (Б) — один из ярчайших лацертид, или голодающих блазаров, довольно близкий (z = 0.033). Спектры не одновременные, что выражается разными сериями точек на одной энергии. «Шишка» в интервале  $10^{14}-10^{15}$  Гц на нижнем спектре — родительская галактика.  $10^{25}$  Гц соответствует энергии 40 ГэВ. Пунктир — результат расчетов по примитивной модели, не него можно не обращать внимания

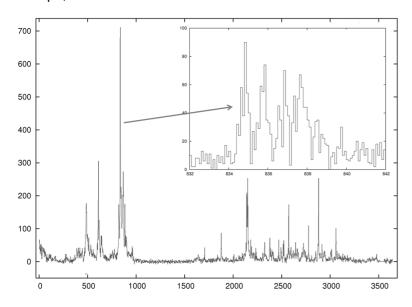


Рис. 5. Кривая блеска блазара 3C454.3. По горизонтали — дни со дня начала работы «Ферми», по вертикали — число гамма-квантов энергии выше 1 ГэВ от блазара за день. Рисунок автора

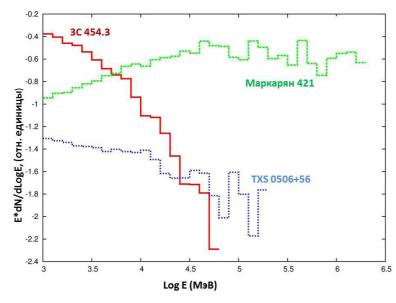


Рис. 6. Спектр мощнейшего насыщающегося блазара 3c454.3 и спектры двух голодающих блазаров. У Маркарян 421 — один из самых мощных спектров, хотя его продолжение выше 300 ГэВ (Log E = 5,5) основано на ненадежной функции отклика детектора. Спектры построены автором по данным «Ферми»

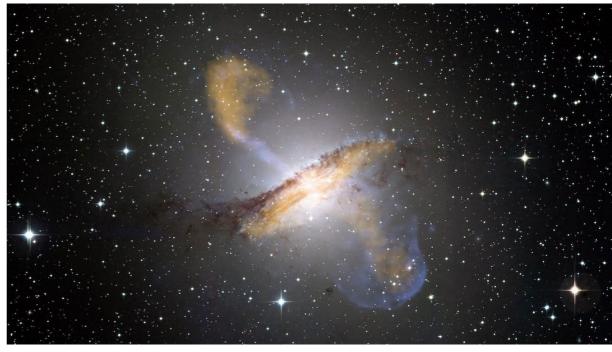


Рис. 7. Близкая (12 млн световых лет) радиогалактика Центавр А. Наблюдатель, находящийся по направлению джетов, видит голодающий блазар

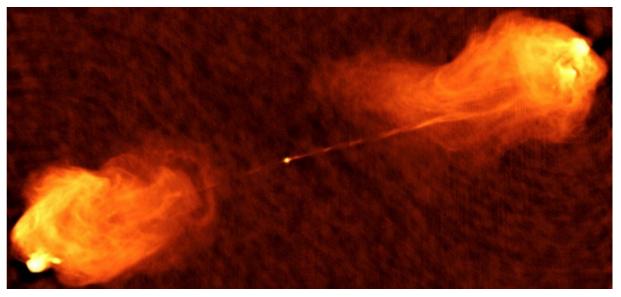


Рис. 8. Лебедь А. Один из сравнительно близких (600 млн световых лет) квазаров в состоянии интенсивного роста, радиоизображение. Размах лопастей чуть меньше миллиона световых лет. Наблюдатель, находящийся по направлению джета, видит насыщающийся блазар

Окончание. Начало см. на стр. 5

При этом регистрируемый электромагнитный спектр блазаров простирается на 20 порядков величины — от радиоволн до ТэВ-ных гамма-квантов. Спектры блазаров, как правило, рисуются в виде так называемого спектрального распределения энергии — как мощность потока фотонов распределена по логарифму энергии (он отличается от обычного спектра dN/dE множителем  $E^2$ ). На рис. 4Aвидно, что для некоторых объектов основная мощность излучается в ГэВ-ных фотонах. Это стало большим сюрпризом, когда запустили первую мощную космическую гамма-обсерваторию «Комптон».

Излучение всех блазаров силь но меняется со временем - иногда в сотни раз за десятки дней (см. рис. 5), иногда в два раза за доли часа. Среди блазаров выделяются два класса объектов. Первый – так называемые палиоквазары с плоским спектром (Flat Spectrum Radio Quasars, FSRQ). Это очень неудачное название, опирающееся на малозначащую и ненадежную деталь, но так сложилось исторически. Они замечательны своей огромной мощностью и широкими эмиссионными линиями водорода и гелия. Последнее результат мощного аккреционного диска, который греет излучающие облака газа, летающие неподалеку. Другой тип в англоязычной литературе и в российском профессиональном жаргоне называется BL-Lac (звучит «би-эль-лак»), а в респектабельной российской литературе используется термин «лацертиды» по имени образцового представителя этого класса BL Lacertae. Там не видно никаких линий и следов аккреционного диска, виден только джет, представленный широким непрерывным быстроменяющимся спектром. Иногда из этого спектра торчит маленький бугорок в оптике — это хозяйская галактика. Лацертиды на порядки слабее по абсолютной светимости, несмотря на то что массы их центральных машин, черных дыр, зачастую того же порядка, что и у мощнейших FSRQ, — миллиарды масс Солнца.

В чем главная разница между этими классами? В режиме питания! Блазары/квазары первого из этих двух классов можно назвать «насыщающимися» — они находятся в стадии бурной аккреции. У них плотный и очень яркий аккреционный диск и мощный джет. Лацертиды – это «голодающие» блазары/квазары. Изза скудного режима аккреции у них очень слабый диск, как правило оптически тонкий, с малоэффективным режимом высвечивания. Основная энергия аккреции уносится в черную дыру, зато джет может быть сравнительно энергичным, если на него расходуется энергия вращения черной дыры, накопленная в стадии насыщения. Для этого достаточно, чтобы аккреционный диск удерживал магнитное поле вокруг черной дыры. Голодающих блазаров гораздо больше, но видны они только с относительно небольших расстояний — до трех миллиардов световых лет (красное смещение порядка 0,3, хотя изредка попадаются и более далекие). Насыщающиеся блазары видны с огромных расстояний — 10 млрд световых лет и более, поэтому число наблюдаемых объектов обоих типов сравнимо. Их золотой век давно позади: мощные блазары в большинстве находятся при красных смещениях от 0,8 до 2 (возраст Вселенной – от 3 до 7 млрд лет). Самый яркий из них, 3С454.3, находится на красном смещении 0,89; при вспышках это действительно монстр, превосходящий остальные в несколько раз. Его спектр изображен на рис. 4А, а кривая блеска за несколько лет наблюдений на рис. 5. В провалах своего блеска он едва-едва наблюдаем. То есть бурное питание мощных блазаров происходит короткими порциями. Во времена расцвета квазаров более интенсивно рождались звезды и вообще во Вселенной происходило больше разных бурных событий. В современной Вселенной мощные блазары – явление гораздо более редкое, теперь они в своей массе голодают, а многие, вроде черной дыры в центре нашей Галактики, находятся в летаргии.

У насыщающихся и голодающих блазаров разные спектры в гаммадиапазоне. Первые мягче, они заваливаются к десяткам ГэВ (рис. 6); это связано с тем, что вблизи ярких аккреционных дисков очень много света, в том числе перерассеянного. Свет – поглощающая среда для гамма-квантов высоких энергий. Если произведение энергий гамма-кванта и встречного фотона больше квадрата массы электрона, то гамма-квант поглощается на мягком фотоне с рождением электрон-позитронной пары. Это главная причина, по которой заваливается спектр. От мощных квазаров прилетает огромный поток в области сотен МэВ и нескольких ГэВ и почти ничего — на десятках ГэВ.

Лауреатом премии Лилавати

лабораторией популяризации

и пропаганды математики

за вклад в популяризацию математики

стал Николай Андреев, заведующий

Математического института имени

состоялась в Хельсинки. Изначально

перенесен в онлайн-формат: научное

конгресс должен был проходить

в Санкт-Петербурге, однако был

сообщество осудило военную

спецоперацию в Украине.

Стеклова РАН, создатель проекта

«Математические этюды» [3].

Церемония награждения

июля на церемонии открытия Международного математического конгресса были объявлены лауреаты Филдсовской премии:

• украинка Марина Вязовская, профессор Федеральной политехнической школы Лозанны, — за доказательство того, что решетка Е8 обеспечивает наиболее плотную упаковку равных между собой шаров



в 8-мерном пространстве, а также за вклад в решение связанных с этой темой экстремальных задач и задач интерполяции в анализе Фурье;

• француз Уго Дюминиль-Копен, профессор Женевского университета, за решение задач вероятностной теории фазовых переходов в статистической физике, особенно в размерностях 3 и 4;



# Математики-лауреаты

• британец Джеймс Мейнард, профессор Оксфордского университета, за вклад в аналитическую теорию чисел, который привел к значительным достижениям в теории диофантовых приближений и в понимании структуры простых чисел;

• кореец Джун Ха, профессор Принстонского университета, за привнесение идей теории Ходжа в комбинаторику, доказательство гипотезы Доулинга — Уилсона для геометрических

решеток, доказательство гипотезы Херона Роты — Уэлша для матроидов, развитие теории многочленов Лоренца и доказательство сильной гипотезы Мейсона



Джун Ха

Интервью с лауреатами и научно-популярные очерки об их работах (требующие определенной подготовки) опубликованы на сайте Международного математического союза [1], лонгриды для широкой аудитории — на сайте *Quanta Magazine* [2].



Шрёдингера [4].

Подробнее о достижениях лауреатов читайте в следующих номерах ТрВ-Наука

1. mathunion.org/imuawards/fields-medal/fieldsmedals-2022

2. quantamagazine.org/tag/2022-fields-andabacus-medals/

3. mathunion.org/imuawards/leelavati-prize/ leelavati-prize-2022

4. 2022. worldwomeninmaths.org/ **OAL-prize-winner** 

Кроме того, на всемирной конференции женщин-математиков было объявлено об учреждении новой математической премии имени Ольги Ладыженской В этом году она была вручена Светлане Житомирской, уроженке Харькова, выпускнице МГУ, профессору Университета



Зато спектр гамма-квантов голодающих блазаров идет прямо и ровно в область энергий, недоступных для «Ферми», – в сотни ГэВ (рис. 4Б). Там мало света, там нечему поглощать гамма-кванты, соответственно, нет ограничений на ускорение частиц, хотя механизм ускорения мы понимаем из рук вон плохо, вплоть до неопределенности в основном типе ускоряемых частиц. Насколько далеко тянутся эти спектры, мы сказать не можем. Видно их продолжение в ТэВ-ных гамма-квантах (рис. 4Б), но и там проблема: ТэВ-ные гамма-кванты далеко во Вселенной не летают. Они поглощаются через то же рождение пар на инфракрасных фотонах от теплового излучения галактик. Что-то с красных смещений  $z = \sim 0,3$  долетает, с близких расстояний – тем более, но всегда приходится вводить поправку на поглощение. Эта поправка до сих пор имеет существенную неопределенность изза неточности оценки инфракрасного межгалактического фона, плюс остается проблема кросс-калибровки «Ферми» и черенковских телескопов. Тем не менее в некоторых случаях есть четкое впечатление, что ТэВ-ный спектр лацертид продолжает их спектр в диапазоне «Ферми». То есть основная мощность потока фотонов равномерно распределена между диапазонами ГэВ-ов, десятков и сотен ГэВ и ТэВ-ов. А может быть, и дальше: от одного из голодающих блазаров с большой вероятностью зарегистрировано нейтрино энергии выше 200 ТэВ (см. [2]). Это значит, там есть множество прото-

#### Поучительная история из собственной практики

10<sup>15</sup> электронвольт.

нов, ускоренных до энергий типа

В свое время мы с Юрием Поутаненом попробовали детально изучить спектры ярких блазаров. Другие авторы обратили внимание на то, что спектры вроде бы имеют изломы, причем в разных местах. Мы построили спектры наиболее ярких и мощных блазаров, используя открытые данные «Ферми». Выяснилось, что большинство изломов статистически незначимы – просто флуктуации. Но есть и значимые изломы, причем примерно в одном и том же месте в районе 4 ГэВ. Что это за энергия? Да это же та что надо энергия! Именно

при ней находится порог поглощения гамма-квантов сильнейшей Лайманальфа линией ионизованного гелия (которая по энергии ровно в 4 раза выше Лайман-альфа водорода). Это был триумф! Изломы выглядели очень убедительно и находились там где надо. Значимость изломов в индивидуальных спектрах достигала 5 сигма. При этом в спектре вышеупомянутого монстра 3С454.3 был виден второй излом, соответствующий поглощению на Лайман-альфа водорода, как и положено при вчетверо большей энергии.

Статья [3] имела успех. Результат свидетельствовал о том, что ускорение частиц и излучение гамма-квантов происходит достаточно близко к черной дыре, не дальше чем на сотнях гравитационных радиусов — только там может быть яркая линия ионизо-

Через три года мы попытались развить успех - статистика «Ферми» существенно увеличилась. Кроме того, команда «Ферми» провела новый пересчет данных с уточненной калибровкой детектора. Мы построили новые, более точные спектры. И эффект от Лайман-альфа линии ионизованного гелия практически исчез! Мы стали разбираться и поняли, в чем дело. При построении спектра надо опираться на так называемую функцию отклика детектора – с какой вероятностью будет зарегистрирован фотон данной энергии, прилетевший под данным углом. Оказалось, что зависимость эффективной площади детектора от энергии, представленная в старой документации «Ферми» (Pass 6), имеет странный излом как раз в районе 4 ГэВ (рис. 9). Это излом вверх, но, поскольку эффектив ная площадь при вычислении спектра идет в знаменатель, получается излом вниз. Он и имитировал линию ионизованного гелия, попав в нужное место. Вразумительных причин для существования такого излома в этом месте нет - видимо, это просто артефакт калибровки, на который не обратили внимания, поскольку он слаб. Но мы работали с очень яркими объектами с хорошей статистикой и искали как раз слабые эффекты. В новой калибровке (Pass 7) такого излома не было.

В своей новой работе [4] мы подошли к задаче более аккуратно, с использованием большей статистики, проведя собственную про-

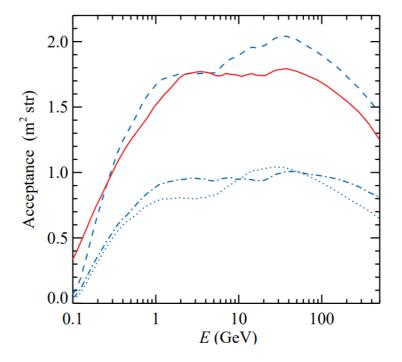


Рис. 9. Эффективная площадь детектора, проинтегрированная по углу (аксептанс), в зависимости от энергии гамма-кванта (верхняя пара кривых). Штриховая кривая — старая калибровка. Излом в районе 4-5 Гэв ничем не обоснован, именно он усиливал или даже имитировал излом спектра блазаров вблизи энергии, соответствующей поглощению на линии ионизованного гелия. Красная кривая новая калибровка (Pass 7)

верку функции отклика детектора на ярких спектрах, которые не должны иметь изломов по определению. Эффект от Лайман-альфа линии ионизованного гелия не то чтобы совсем исчез, но сохранился в ослабленном виде только для двух мощнейших блазаров с ярчайшими аккреционными дисками. Зато четко прорисовался излом спектра от Лайман-альфа линии водорода, что естественно, поскольку водорода намного больше и излучение водородной линии требует менее экстремальных условий. Всё встало на свои места; результаты получились более правдоподобными, но менее яркими. Интересно, что на первую, неправильную, работу – 176 ссылок, на вторую, правильную, - всего 28.

Я рассказал эту частную историю, поскольку она типична и поучительна. С данными того же «Ферми» был аналогичный случай. Одна группа увидела, что угловое распределение гамма-квантов от блазаров шире, чем «функция разброса» точечного источника, приведенная в документации «Ферми», - вокруг источника появляется некий ореол. Отсюда был сделан далекоидущий вывод о каскадных процессах с участием внегалактических магнитных полей, происходящих по пути. Другая группа применила тот же метод к Крабовидной туманности и нашла такой же ореол, которого там в принципе не должно быть, поскольку Краб — близкий объект. Попросту функция разброса источника, измеренная/вычисленная командой «Ферми», была уже, чем на самом деле. Это признали – и провели новую калибровку. Подобные истории происходили и с другими инструментами.

Из приведенного примера проистекают два вывода:

А. Нельзя полностью полагаться на калибровку данных и характеристики инструмента, опубликованные его создателями. Надо делать собственные тесты на разумность. Если бы мы, например, построили прецизионный спектр диффузного гамма-излучения, то обнаружили бы тот самый излом (которого там не может быть) и поняли бы, что это артефакт.

#### НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ

Б. Открытость исходных данных важна еще и по этой причине: исследователи, не связанные с экспериментом, вылавливают «клопов», пропущенных самой командой эксперимента. Наличие таких «клопов» практически неизбежно, и отловить их ограниченным числом сотрудников очень тяжело. «Ферми» – удачный пример открытого эксперимента, который в результате совместных усилий доведен до совершенства. А вот данные большинства наземных установок, включая черенковские телескопы, закрыты. Это подрывает доверие к точности их результатов. Есть пример, когда ошибка калибровки большой наземной установки по регистрации космических лучей сверхвысоких энергий вызвала переполох и целый вал теоретических работ в ложном направлении.

В целом гамма-астрономия успешно развивается в плане получения и накопления новых данных. Открытая база данных «Ферми» содержит многие сотни миллиардов гамма-квантов, при этом инструмент в целом неплохо откалиброван и документирован. С наземными установками ситуация в плане доступности данных несколько хуже, но и там ожидается прогресс в связи с предстоящим запуском гигантской установки СТА. К сожалению, с пониманием процессов ускорения частиц и излучения джетов дела обстоят несколько хуже, но это уже тема для отдельного разговора.

- 1. trv-science.ru/2022/06/ rentgenovskaya-astronomiya-v-nashi-
- 2. trv-science.ru/2018/07/pervyj-kriknejtrinnoj-astronomii/
- 3. Poutanen J., Stern B. GeV Breaks in Blazars as a Result of Gammaray Absorption Within the Broadline Region // The Astrophysical Journal Letters. 2010. Vol. 717. Iss. 2. P. L118-L121. arXiv:1005.3792
- 4. Stern B. E., Poutanen J. The Mystery of Spectral Breaks: Lyman Continuum Absorption by Photon-Photon Pair Production in the Fermi GeV Spectra of Bright Blazars // The Astrophysical Journal. 2014. Vol. 794. Iss. 1. Article id. 8, 7. arXiv:1408.0793

# Быть всегда правым в науке очень скучно: Томми Голд

Виталий Мацарский

редставьте себе, что вам семнадцать. Вы учитесь в швейцарской частной школе. Вотвот начнется Вторая мировая война. И вот в один прекрасный день вас призывает к себе строгий отец, вечно занятый важными финансовыми делами, и говорит: «Срочно отправляйся на две недели с сестрой в Милан. Там вы поселитесь в самой лучшей гостинице, в самых дорогих номерах. Пойдете в самые лучшие магазины и к самым дорогим портным. Накупите себе самых дорогих костюмов, белья и нарядов - твоей сестре в ее 22 года это не помешает. Потом можете отправиться на самый лучший лыжный курорт, ты ведь обожаешь скоростной спуск. Экипировку и снаряжение покупай самое лучшее и дорогое».

Видя ваше законное изумление, обычно прижимистый папаша продолжает: «Деньги и прочие ценности вывозить из Италии нельзя — такой закон недавно принял Муссолини. Ограничьтесь только купленными вещами. Полагаю, что скоро он конфискует все мои лежащие на итальянских счетах денежки. Короче, ни в чем себе не отказывайте. Ваша задача — за две недели истратить как можно больше и пожить с максимальным комфортом. Боюсь, что других таких каникул у вас больше никогда не будет».

Послушный сын в точности выполнил распоряжения отца. Тот, как всегда, оказался прав: и каникул таких больше никогда не было, и все его итальянские деньги пропали. А увлекающийся горнолыжным спортом молодой человек по имени Томас Голд вскоре поступил в Кембридж и стал знаменитым ученым.

Впрочем, обо всем по порядку.

Родился Томас (которого все всю жизнь называли Томми) 22 мая 1920 года в Вене, в преуспевающей еврейской семье. Отец его был австрийским промышленником, управлявшим целым рядом предприятий добывающей и металлургической промышленности, а мать - немецкой актрисой, в свое время пользовавшейся широкой популярностью в узких кругах. В начале 1930-х годов семье из-за ухудшившейся конъюнктуры в добывающей промышленности пришлось переехать в Берлин, где Томми пошел в школу, которая сразу ему опротивела. Там царила ненавидимая им зубрежка, так что он с трудом на протяжении трех лет переползал из класса в класс. Позже он узнал, что учителя предлагали перевести его в школу для недоразвитых детей

Зато он преуспевал в спорте, особенно в гимнастике. Небольшой рост, юркость и отличная реакция позволяли ему часто выходить победителем из драк, которые по мере продвижения к власти нацистов происходили всё чаще и чаще. «Арийские» мальчишки избивали еврейских. С приходом к власти Гитлера всё семейство Голдов бежало через Прагу и Вену в Англию, а 13-летний Томми отправился в частную школу-пансион в Швейцарию.

Там его отношение к учебе полностью изменилось. Вместо огромных берлинских классов по пятьдесят человек и зубрежки здесь были классы человек по пятнадцать, а учителя отличались индивидуальным подходом. Так выяснилось, что Томми не был умственно отсталым, а был, наоборот, очень даже сообразительным и способным к математике. Там же он мастерски освоил горные лыжи. Дошло до того, что хозяин местного магазина стал бесплатно давать ему новое снаряжение, присланное для пробы поставщиками, и при этом приговаривал: «Если что-нибудь сломаешь, не огорчайся, мне же лучше: значит, товар плохой, не буду его заказывать».

В 1938 году семья решила, что Томми должен поступать в Кембридж, на инженерную специальность. Он хотел стать физиком, но отец сомневался, что физика сможет его прокормить. Успешно сдав вступительные экзамены, с сентября 1939 года он начал учиться на инженера, но тут разразилась война.

Томми успел проучиться чуть больше полугода, когда правительство решило, что пребывание граждан Германии и Австрии в стратегически важных районах небезопасно для страны, поэтому они подлежат интернированию. Кембридж отнесли к такому району, и Томми тоже интернировали. Его проживавших в Лондоне родителей не тронули.

Голда с десятками таких же бедолаг погрузили на транспорт и отправили в Канаду, где должны были разобраться с их личностями и определить, представляют ли они опасность для Великобритании. Предполагалось, что вся процедура займет две-три недели, после чего прошедшие фильтрацию лица смогут вернуться к прежней английской жизни. Однако получилось иначе. По прибытии в Канаду оказалось, что все документы погрузили на другой транспорт, который вез интернированных в Австралию. По дороге немцы его потопили. Погибли и люди, и документы. Определить, кто есть кто, оказалось

Для прибывших в Канаду организовали временный лагерь с очень примитивными условиями – частенько приходилось спать на полу. Но нет худа без добра. В лагере оказались многие кембриджские ученые, которые стали читать друг другу лекции по своей специальности. Так Томми познакомился и подружился на всю жизнь с молодым математиком Германом Бонди, тоже выходцем из Австрии.

Для бесед-допросов из Лондона прибыли несколько военных чинов, которые должны были определить, кого можно пустить обратно в Вели-

дура заняла больше девяти месяцев и окончилась для Голда и Бонди благополучно - им разрешили вернуться в Кембридж.

ся - его сразу позвал к себе в группу теоретиков ее начальник Фред Хойл, который помогал разрабатывать сверхсекретный морской радар. Бонди тут же предложил взять в группу и Томми, что и произошло месяца через три после его проверки. Так вчерашние потенциальные шпионы и диверсанты стали участниками одного из самых секретных проектов. Воистину, пути спецслужб

Вскоре Голд, Бонди и Хойл крепко сдружились и поселились вместе в снятом неподалеку от полигона домике. Вечерами они вели долгие беседы обо всем на свете, в том числе о науке. Тогда-то у них и стала зарождаться гипотеза стационарной Вселенной.

По окончании войны 25-летнего Голда вызвали в Лондон и назначили руководителем небольшой группы военных экспертов, которые должны были ознакомиться в Германии с состоянием немецких радаров и выяснить, нельзя ли позаимствовать что-либо новенькое. Для того чтобы придать Томми должный вес и авторитет, ему выдали форму командира авиабригады, что соответствовало армейскому полковнику. Ничего интересного Голд с коллегами не нашли и даже поудивлялись невысокому уровню радиолокационных установок. Форму пришлось вернуть, но он успел в ней сфотографироваться и поразить родителей высоким чином.

Виталий Мацарск кобританию. В итоге вся проце-

Бонди там долго не задержал-

неисповедимы.

Во время службы на радарном полигоне Томми научился многому, в том числе работе с ультразвуком. С тем он и пришел к руководителю Кавендишской лаборатории нобелевскому лауреату по физике 1915 года сэру Лоуренсу Брэггу. Голд предложил исследовать возможности диагностики внутренних органов с помощью ультразвука, применив метод, который теперь называют фазированной решеткой. По его замыслу пациента нужно было помещать в ванну и прикладывать к его телу щуп, а изображение поступало бы на специальный

ный грант, но буквально за день до начала работы главный администратор лаборатории заявил, что проект закрыт, так как для него нет помещения. Раздосадованный Томми не стал настаивать, а потому появление аппарата УЗИ, известного теперь каждой беременной женщине, задержалось лет на пятнадцать.

осциллограф. Согласие было по-

лучено, выделен специаль-

Но всё же ультразвук помог Голду в другом. При его помощи Томми сделал ячейки памяти из ртутных элементов задержки для первого работающего английского компьютера EDSAC, запущенного в середине 1949 года. Такие ртутные элементы Томми разработал еще во время работы над радаром, и тогда же, во время войны, к нему приезжал поглядеть на них Алан Тьюринг. Они требовались ему для нового сверхсекретного компьютера, который должен был прийти на смену знаменитой теперь «Энигме». Конечно, Голд узнал об этом гораздо позже.



Томас Голд в своем кабинете в Корнеллском университете в 1987 году

Пока Голд размышлял, чем бы ему заняться в Кавендише, он решил на досуге подумать над физиологией слуха. Он изучил всю имеющуюся по этой теме литературу и пришел к выводу, что может подправить теорию, созданную за сто лет до того великим физиком Германом фон Гельмгольцем. И это ему удалось. С результатами своего исследования он участвовал в конкурсе на должность члена колледжа Тринити и эту должность получил, обеспечив себе финансовую независимость на четыре года. Победа на этом конкурсе по статусу считалась выше PhD, а потому диссертацию писать он не стал.

Работа Голда о механизме слуха, опубликованная в «Трудах Королевского общества», прошла совершенно незамеченной. Физиологи ее полностью игнорировали, так как не могли или не хотели разбираться в его физических рассуждениях и формулах. Томми понял, что пробиваться в этой области ему будет очень трудно, а потому решил заняться чем-то другим. Кстати, через каких-то сорок лет его теория слуха была полностью принята и подтверждена.

В конце 1940-х годов Голд с Бонди и Хойлом усиленно раздумывали над открытым Эдвином Хабблом разбеганием галактик. Вроде бы логичным следствием этого открытия было происхождение Вселенной из состояния высокой плотности некое конечное время назад. Том-

После открытия пульсара в Крабовидной туманности теорию Голда приняло широкое научное сообщество

ми пришло в голову, что возможна и другая космологическая гипотеза: бесконечная в пространстве и времени Вселенная, которая, несмотря на «разбегание» галактик, остается в стационарном состоянии. Для этого нужно было предположить, что на смену «убежавшим» галактикам формируются новые из вещества, в малых количествах постоянно порождаемого в пространстве. Голд полагал, что такое предположение ничуть не хуже представления об образовании всей материи Вселенной одномоментно.

Сначала друзья отнеслись к этой идее скептически, но по некотором размышлении, не найдя в таком подходе логических противоречий, решили его развить и опубликовать с требуемыми обоснованиями. Хойл взялся модифицировать общую теорию относительности, добавив туда С-поле, порождающее материю, а Голд с Бонди предпочли более общий подход, предложив «совершенный космологический принцип» и рассмотрев возможность фальсификации своей теории в духе Поппера.

Гипотеза трех друзей не прошла незамеченной, по крайней мере в Европе. Но с обнаружением в 1964 году фонового микроволнового излучения, интерпретированного как дошедшее до нас свидетельство Большого взрыва, популярность стационарной модели быстро сошла на нет. Заниматься ею время от времени продолжал, пожалуй, один лишь Фред Хойл. Тем не менее Голд не считал, что они предложили глупость. Он писал: «Если даже окончательно выяснится, что наша теория совершенно ошибочна, мне всё равно не за что будет краснеть. Если ошибка была колоссальной, то ведь и сама проблема колоссальна».

Параллельно Томми занимался и проблемами чуть менее «колоссальными», но весьма важными. Так, он заинтересовался работами шведа Ханнеса Альвена по магнитогидродинамике (в 1970 году тот был удостоен за них Нобелевской премии по физике), сотрудничал с ним и даже придумал общепринятый теперь термин «магнитосфера». А в 1960 году вдруг предложил оригинальную гипотезу происхождения жизни на Земле – якобы ее занесли к нам пролетавшие мимо инопланетяне, сбросившие на подвернувшуюся планету свой мусор. Ну чем не «Пикник на обочине»!

Чуть позже, в 1967 году, судьба снова столкнула Томми с инопланетными «зелеными человечками», за сигналы которых чуть было не приняли невиданные ранее астрономические объекты [1]. Эти объекты получили название пульсаров, об их природе высказывались различные предположения, пока Голд не заявил, что это, скорее всего, быстровращающиеся нейтронные звезды. Так оно и оказалось. Независимо от него такое же предположение высказал итальянский астрофизик Франко Пачини. Само понятие нейтронных звезд ввел Субраманьян Чандрасекар [2]. Кстати, первая жена Томми была его сотрудницей.

Интересовался Томми и Луной, а именно ее поверхностью. Потому с начала 1950-х годов NASA стало привлекать его в качестве консультанта. Голд предположил, что Луна покрыта слоем тончайшей пыли, который местами достигал десятков сантиметров, так что при высадке на поверхность астронавты могли завязнуть в ней по колено. Специалисты подняли его на смех — называли это предположение «золотой пылью», обыгрывая его фамилию. Сам Томми называл эту субстанцию «лунной пылью». Возможно, отсюда почерпнул название своего известного фантастического романа Артур Кларк. Позднее Томми уточнил свои расчеты и теперь уже полагал, что слой пыли был потоньше - до нескольких сантиметров. Так оно впоследствии и оказалось (вспомним





#### Ядерная физика

К ядерной физике Силард обратился еще в Берлине в 1932 году. Потом он перебрался в Англию, ибо нацисты постарались выкурить из страны ученых «нестандартной национальности». Как начинающий в данной области науки. он не был удивлен, что не получил приглашения на Седьмой Сольвееевский конгресс в Брюсселе в 1933 году, посвященный атомной физике. При этом всего за несколько лет Силард стал весьма известен в данной сфере.

Экспериментальную работу в области ядерной физики он начинал летом 1934 года в Лондоне, в радиевом департаменте Госпиталя святого Варфоломея<sup>1</sup>. В письме Фридриху Панету<sup>2</sup> в августе 1934 года он сообщал: «Я трачу на это максимум времени». Менее чем через год Силард запатентовал проект циклотрона и теоретически обосновал возможность цепной ядерной реакции. Эти достижения позднее он упоминал с гордостью, хотя был аккуратен в словах, чтобы не исключать заслуг других из-

Силард и Чалмерс проводили систематические исследования основных проявлений радиоактивности. Они разработали способ разделения радионуклидов посредством бомбардировки нейтронами и получения изотопов из элементов, существующих в обычном изотропном

- <sup>1</sup> Radium Department of St. Bartholomew's
- <sup>2</sup> Фридрих Адольф Панет (Friedrich Adolf Paneth), австрийский и немецкий химик и геохимик

# Лео Силард мессия, легкий на подъем

Окончание. Начало в ТрВ № 353, 354

Лео Силард объясняет процесс деления ядер. Фото из архива Аргоннской национальной лаборатории

была представлена концепция цепной реакции. Заявка была утверждена в качестве патента в 1935 году. При этом он сообщил о предназначении части патента, касающейся цепной реакции, в Военное ведомство Великобритании. Таким образом, он в каком-то смысле инициировал военное противостояние Гитлеру, всё более убеждаясь в громадном потенциале теоретической физики при решении задач производства. В письме основателю British General Electric Company сэру Хьюго Херсту (Hugo Hirst) в феврале 1934 года Силард сообщал:

«Я пока не могу сказать определенно, что мы немедленно создадим новые применения быстрым электронам, но уверен, что внимание руководства General Electric Company к прогрессу в данной области, вероятно очень быстрому, принесет признание компании».

Лео Силард отправлял одну патентную заявку за другой. Они касались изобретений в совершенно разных областях. Так, одна из заявок относилась к способу воспроизводства книг (по сути, предшествующему микрофильмированию и микрофишированию).

Силард также искал финансовую поддержку для выполнения экспериментов, которые имели шансы на применение в особо важных областях промышленности. Он упоминал, что не считает эти патенты личной собственностью, и если они имеют какое-то значение, то должны быть под контролем общественности, а любой доход от реализации запатентованных решений должен использоваться не в личных целях, но для последующих исследований, при больших выплатах – для выполнения других прогрессивных задач. На доходы от патентов Силард предлагал Ферми основать фонд материальной поддержки юных физиков, а также приобрести радий и оплатить поездки физиков в различные лаборатории.

> За чтением заявления президента Трумэна от 23 сентября 1949 года об испытаниях в СССР атомной бомбы

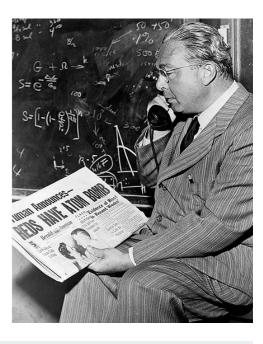


В 1938 году во время мюнхенского кризиса Лео Силард предсказывал, что война начнется в ближайшие два года. По воспоминаниям Силарда 1960 года, он заявил тогда представителям британских властей, что готов остаться в стране, если сможет работать на войну, и эмигрирует в США в случае отказа. По словам Силарда, англичане не позволили бы иностранцу участвовать в военных разработках.

По истечении контракта в Оксфорде в 1938 году Лео Силард эмигрировал в США и поступил на службу в Колумбийский университет «чтобы разрабатывать инновации, которые впоследствии сочли важными для национальной безопасности». Денег за работу он не получал.

Моральная дилемма, вызванная к жизни войной, – может ли наука служить инструментом политики – беспокоила Лео Силарда всю его жизнь. Он стал провозвестником антивоенного движения ученых.

Окончание см. на стр. 10



состоянии<sup>3</sup>. Коллеги выявили первый случай изомеризма искусственно созданных радиоактивных элементов; открыли фотоэмиссию медленных нейтронов бериллия и выполнили пионерские исследования в этой области, что позволило разработать метод различения излучений – медленных и быстрых нейтронов при ядерном распаде, критически важной характеристике цепной реакции.

Эти и другие эксперименты принесли свои плоды, Силард получил приглашение в Кларендонскую лабораторию в Оксфорде<sup>4</sup>. Там в 1935 году он присоединился к Гриффитсу для участия в исследованиях гамма-лучей, явлении, при котором медленные нейтроны поглощаются элементами, характеризующимися необычным атомным номером.

В 1941 году Юджин Вигнер так отзывался о работе Силарда в тот период:

«При мне возможность реализации ядерной энергии впервые всерьез обсуждалась весной 1934 года, когда я увиделся с Силардом в Лондоне. Эффект соударений нейтронов с ядрами был показан Силардом одновременно с Ферми и независимо от него. Силард представлял возможность осуществления цепной реакции как раз то время...»

Вигнер явно переменил свою прежнюю сдержанную оценку Силарда как физика. Весной 1934 года Лео Силард направил в патентное ведомство Великобритании заявку, в которой

- <sup>3</sup> Эффект Силарда Чалмерса.
- <sup>4</sup> Clarendon Laboratory in Oxford.

знаменитый снимок отпечатка подошвы космонавта Базза Олдрина, сделанный 20 июля 1969 года).

В 1950-е годы Томми пришла в голову мысль, что ископаемое топливо может иметь абиогенное происхождение. Сама по себе эта идея отнюдь не нова. Так полагали, например, еще Менделеев и Марселен Бертло, а в 1951 году ее возродил выдающийся советский геолог Николай Александрович Кудрявцев, о чем Голд не подозревал. Только когда его обвинили в плагиате, он стал ссылаться на советских исследователей. Как бы то ни было, Томми полагал, что нефть и газ образовались глубоко под корой Земли во время ее формирования, а потом «пробулькивались» наверх через разломы коры, появлявшиеся в результате землетрясений или ударов метеоров, а органика в нефти и газе накапливалась уже потом, при проникновении в близкие к поверхности слои, полные биоты

В 1986 году Томми убедил шведских коллег провести пробное бурение в районе кратерного озера Сильян. После трех лет работ на глубине около 4 км удалось добыть немного нефти – увы, совсем немного, всего 80 баррелей. Несмотря на сомнения скептиков, бурение про-



должалось, пока не возникли серьезные технические проблемы, а в 2019 году было решено рабо-

ты прекратить, поскольку надежды выйти на коммерческие объемы добычи отпали.

Однако главным интересом всей жизни у Голда была астрофизика. В 1956 году Томми уехал в США; сначала преподавал в Гарварде, а в 1959 году принял предложение Корнеллского университета, где возглавил астрономический факультет, штат которого тогда составлял один человек. Голд начал активно набирать сотрудников, в том числе позднее прославившихся Карла Сагана и Фрэнка Дрейка. Последний – автор уравнения, включающего, по его мнению, все факторы оценки вероятности существования где-либо во Вселенной разумной жизни. В Корнелле Томми, конечно, не мог не познакомиться и подружиться с работавшим там Ричардом Фейнманом, интеллект которого по десятибалльной шкале он оценивал в 12.

Кроме того, Голд создал междисциплинарный центр радиофизики и космических исследований, в развитие которого он вложил массу сил и энергии. Под его руководством вовсю заработал крупнейший в мире на то время стационарный радиотелескоп «Аресибо» в Пуэрто-Рико. Частично финансирование работ созданного Томми центра осуществляло NASA, что через некоторое время вызвало проблемы. Дело в том, что Голд категорически и публично выступал против планов NASA создать

многоразовый космический корабль «шаттл». Он считал, что гораздо дешевле и эффективнее было бы потратить огромные деньги на разработку автоматических беспилотных аппаратов, что шло вразрез с долгосрочными планами агентства, и ему решили «перекрыть кислород».

Тем не менее Томми удалось сохранить свой центр и вывести его на высший мировой уровень. Радиотелескоп «Аресибо» успешно проработал до 2020 года, до 100-летнего юбилея Голда. Тропические ураганы и землетрясение в конце концов сделали свое черное дело - 1 декабря 2020 года подвешенная над огромной чашей на тросах аппаратура рухнула вниз. Телескоп перестал существовать [3].

Томас Голд не дожил до этого грустного события. Он скончался 22 июня 2004 года.

По материалам книги: Gold Th. Taking the Back off the Watch, A Personal Memoir. Springer, 2012 и других источников

- 1. trv-science.ru/2017/09/miss-bell-iinoplanetyane/
- 2. trv-science.ru/2016/10/bodalsyachandra-s-sirom-arthurom/
- 3. trv-science.ru/2020/12/arecibovelikolepnaya-oshibka/

Продолжение. Начало см. на стр. 9

## Политика против науки: моральная дилемма войны

Знакомство Силарда с Эйнштейном началось вскоре после того, как Силард перебрался в Берлин в 1920 году. Эйнштейн с самого начала оценил его как «интеллигентного умного молодого человека», отметил, что он «не подвержен иллюзиям», однако «подобно многим людям такого типа, может быть склонен к преувеличению значимости разума в человеческих отношениях». В 1931 году благодаря поддержке Эйнштейна Силард получил иммиграционную визу в США.

В 1939 году Силард и его коллеги и соотечественники Юджин Вигнер и Эдвард Теллер решили обратиться к Эйнштейну с просьбой сообщить президенту Рузвельту о новейших разработках в ядерной физике и необходимости финансировать исследования цепной ядерной реакции, которые могли бы привести к созданию чрезвычайно мощных бомб.

Письмо Эйнштейна к главе государства возымело больший успех, чем аналогичное обращение нобелевского лауреата Энрико Ферми в Военно-морское ведомство США в марте 1939 года. Последнее расценили как сумасбродство.

Осенью того же года Силард использовал циклотрон в Рочестерском университете для продолжения исследований на основе индия. Это привело к открытию радиоактивности, инициируемой возбуждением ядра. В то же время вместе с Вальтером Зинном в Колумбийском университете Силард изучал испускание нейтронов при ядерном делении, чтобы выявить возможности поддержания цепной реакции в системе, содержащей уран. В июле 1939 года Силард сделал предположение о возможности самоподдерживающейся ядерной реакции в системе уран – графит и подготовил статью в *Physical Review*. Однако по требованию правительства США публикация была отложена на неопределенное время.

Силард убеждал коллег и правительство США в необходимости сохранения в секрете работ по цепной реакции. В марте 1939 года он пытался, хотя и безуспешно, убедить Ферми отказаться от публикации по результатам наблюдений о количестве нейтронов, испускаемых при делении ядра урана. С той же просьбой Силард обращался к Фредерику Жолио-Кюри. Однако Жолио-Кюри в апреле 1939 года все-таки опубликовал свои результаты. Но после германского вторжения в Польшу в сентябре 1939 года Жолио-Кюри убедился в необходимости отказа от подобных публика-

ций и в октябре того же года передал во Французскую академию наук на хранение запечатанный конверт с документами, содержащими объяснение принципиального устройства ядерных реакторов.

В 1940 году Силард был сотрудником Национального исследовательского комитета по вопросам обороны в Колумбийском университете, а в феврале 1942 года Артур Комптон, руководивший исследованиями по цепной реакции в Чикагском университете и организовавший там Металлургическую лабораторию, назначил Силарда (как члена группы Ферми) ответственным за поставку материалов. Силард был убежден, что ему не стоит публиковать результаты исследований, касающиеся цепной реакции, и точно так же он не был готов получать роялти от патентов, связанных с новым оружием массового поражения, предназначенным для использования против Германии и Японии. Однако его намерения переменились. В конце 1942 года во время битвы за Сталинград он понял, что возможно выиграть войну традиционными методами в течение нескольких лет, и новое оружие, вероятно, не будет готово до окончания войны, в основном из-за распределения ответственности при его разработке, из-за того, что не удастся произвести его в достаточном количестве, а также из-за общего отношения военных к ученым. Поэтому в начале 1943 года он решил направить патентные заявки на свои основные изобретения.

Переговоры с органами власти, запретившими ему подачу заявок на изобретения, прошли уже до ноября 1940 года, в самом начале его работы в Колумбийском университете. В итоге в августе 1943 года он был поставлен перед выбором: или потерять работу в Чикаго, или передать правительству права на «все изобретения, открытия, методы и идеи, относящиеся к ядерному делению, которые не покрываются выданными или уже не действующими патентами». Силард решил не покидать работу и подписать соглашение, предоставлявшее правительству США права на все изобретения, касающиеся ядерного деления. Он был убежден, что немцы, как и американцы, ведут такого рода разработки, и сообщил об этом генералу Лесли Гровсу и Артуру Комптону в начале декабря 1943 года.

В декабре 1944 года Силард и Ферми направили заявку на патент, касающийся цепной реакции в уране, впервые реализованной в Чикагском университете 2 декабря 1942 года. Права на патент они передали Комиссии по атомной энергии США в 1955 году.

и многие другие ученые, был противником принципа дробления информации на блоки, установленной генералом Гровсом в рамках системы обеспечения секретности. Негативный эффект такой системы проявился в разговоре Силарда с Эдвардом Теллером летом 1942 года. Силард предлагал уделить большее внимание автокаталитическому методу взрыва, который они с Теллером обсуждали ранее. Теллер отметил, что он сам придает важность данному методу, но его группа придерживается другого мнения. В то же время он считал, что эти вопросы нельзя обсуждать свободно.

Силард полагал: «Мы делим информацию на блоки, подобно секретным обществам, но, в отличие от них, у нас нет центральной группы, которая знает всё. <...> Соответственно, у нас нет надежного механизма реализации решений, и при этом принимаются решения, которые большинство из нас считает неверными и часто приводящими к потерям времени от четырех до восьми месяцев».

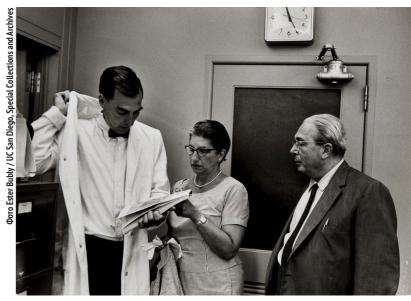
Кроме того, возникала проблема сбора информации о ядерных исследованиях в Германии. Силард прожил в Германии более десяти лет и полагал, что достаточно осведомлен о менталитете нации, поэтому предсказывал, что после поражения под Сталинградом немцы могут попытаться выиграть войну другими средствами. Силард был уверен, что может повлиять на события, и 18 августа 1944 года с разрешения правительства США отправил письмо Фредерику Линдеманну, советнику по науке Уинстона Черчилля. Силард был знаком с Линдеманном со времен работы в Оксфорде. Ученый предлагал найти и разрушить промышленные предприятия Германии, которые могут использоваться для производства атомной бомбы. Силард не мог знать, что переоценил прогресс в ядерных исследованиях в Германии на тот момент.

Силард также предлагал задействовать английскую военную разведку с целью сбора специальной информации «с предельной осторожностью и величайшей осмотрительностью» с помощью агентуры, подготовленной при участии физиков.

## Наука против политики: моральная дилемма мира

К весне 1945 года Силард убедился, что атомную бомбу использовать не следует. Он осознавал, что поражение Германии неотвратимо, поэтому отпадает основная предпосылка Манхэттенского проекта, а применение бомбы в Японии нанесет ущерб процессу мирного урегулирования. Переполненный опасениями за будущее мира, Лео Силард решил обратиться к президенту Рузвельту с меморандумом, предупреждающим об





Лео Силард (справа) с женой Гертрудой Вайсс-Силард и коллегой Робертом Ливингстоном в одной из лабораторий Национальных институтов здравоохранения, 1961 год

опасности гонки ядерных вооружений. И в этот раз он снова попросил Эйнштейна о поддержке. Эйнштейн отреагировал быстро, отправив письмо Рузвельту 25 марта 1945 года.

Меморандум Силарда предусматривал создание международной системы контроля для предотвращения гонки вооружений. Однако госсекретарь Джеймс Бирнс, уже при президенте Трумэне, полностью отверг аргументацию Силарда. Бирнс был уверен, что в Советском Союзе отсутствуют залежи урана, поэтому для создания советской бомбы потребуется много лет и это обеспечит Соединенным Штатам установление собственного мирового порядка. Химик-ядерщик и геохимик Харрисон Скотт Браун, участник Манхэттенского проекта, отмечал: если бы Бирнс воспринял Силарда так же серьезно, как президент Рузвельт более чем за пять лет до обращения к администрации Трумэна, весь ход истории мог бы стать иным.

В июне 1945 года Лео Силард стал одним из всего лишь семи подписавших доклад Франка – петицию в военное ведомство США, отправленную группой американских физиков-ядерщиков во главе с лауреатом Нобелевской премии Джеймсом Франком. Ученые призывали не использовать атомную бомбу против Японии во время Второй мировой войны. В июле того же года Силард распространил проект петиции, адресованной президенту Трумэну: «Прежде чем неограниченно применять оружие в текущем конфликте, необходимо адекватно объяснить его действие и продемонстрировать его мощь. У японской нации должна быть возможность рассмотреть последствия отказа от предстоящей капитуляции. Мы полагаем, что такой способ воздействия будет усиливать эффективность оружия в этой войне и приведет к сильнейшему эффекту по предотвращению войн в будущем».

Силард собрал 67 подписей ученых, работающих в Чикаго, и 19 июля передал петицию Артуру Комптону с просьбой направить ее Трумэну через военное ведомство, что Комптон сделал 24 июля.

Комптон также попросил физика и химика Фаррингтона Даниэльса, директора металлургической лаборатории Чикагского университета, одного из первых исследователей солнечной энергетики, организовать опрос в отношении петиции Силарда. Опрос был проведен 12 июля, в нем участвовали 150 сотрудников лаборатории. Предлагалось пять вариантов ответа:

1) применить оружие с наибольшей эффективностью, с точки зрения

На Пагуошской конференции в начале 1960-х годов. Лео Силард пятый справа. Фото из статьи [1] военных, с целью обеспечения скорой капитуляции Японии при минимальных потерях американских вооруженных сил;

2) организовать в Японии демонстрацию применения оружия, дав ей возможность капитулировать до применения оружие в войне;
3) организовать демонстрацию

в США в присутствии представителей Японии, дав ей возможность капитулировать до применения оружия в войне;

4) отказаться от военного применения оружия, но организовать публичную экспериментальную демонстрацию его эффективности;
5) сохранять в секрете, насколько

возможно, все разработки нового американского оружия и воздерживаться от его использования в этой войне.

46% респондентов выбрали второй вариант.

Однако петиция не возымела действия. В мае 1945 года военный министр США Генри Стимсон, по настоянию лидеров Манхэттенского проекта и с одобрения президента Трумэна, создал Временный комитет для консультирования по вопросам, касающимся ядерной энергии. В эту секретную группу высокого уровня входили политики, ученые и промышленники. Для ускоренного принятия решений в комитете была создана консультативная группа; в ее состав были включены Артур Комптон, Эрнест Лоуренс, Роберт Оппенгеймер и Энрико Ферми. Эксперты уже выразили свое отношение: военное применение ядерного оружия в войне с Японией необходимо.

Силард пребывал в тягостных раздумьях из-за конфликта между собственным успехом в науке и неудачным опытом в качестве гражданина мира. Как ученый он долгие годы работал над проектом, который стал причиной невиданных разрушений; как гражданин он делал всё, что было в его силах, для предотвращения трагедии. И теперь нужно было жить с самой сложной проблемой в жизни: стремиться искупить грехи и биться против оружия, которое он помогал создать. Он посвятил этому все остававшиеся годы жизни.

Сразу после войны Лео Силард стал лидером движения ученых в борьбе за передачу контроля над ядерной энергией от военных к гражданской администрации.

Валерий Лесов

По материалам статьи: Tibor F. Ever Ready to Go: The Multiple Exiles of Leo Szilard // Phys. Perspect. 2005. 7. P. 204–252 и других источников

1. Rotblat J. The Early Days of Pugwash // Physics Today 54, 6, 50 (2001). DOI: 10.1063/1.1387592



инозавры привлекают внимание и потому, что это самые большие существа, когда-либо жившие на суше, и потому, что время нептичьих динозавров закончилось ровно перед началом кайнозоя — эры господства млекопитающих, то есть нас с вами. Несмотря, однако, на неослабевающий интерес и колоссальный рост наших знаний о динозаврах за последнее время, многое в их экологии и физиологии еще вызывает споры. Например, не прекращаются дискуссии о том, были ли какие-нибудь нептичьи динозавры теплокровны, какие именно из них и когда могли перейти к эндотермии, а какие нет и за счет чего они поддерживали высокую температуру. Долгое время эти споры оставались довольно умозрительными: в прошлое на машине времени с градусником не слетаешь. И все-таки прогресс не стоит на месте. Новые методы позволяют и о таких эфемерных вопросах, как температура тела ископаемого животного, говорить более-менее предметно.

Недавно опубликованная в журнале Nature статья Fossil biomolecules reveal an avian metabolism in the ancestral dinosaur [1] не ставит, конечно, точку в многолетних дискуссиях, но изложенные в ней данные довольно интересны. Как они были получены и в чем состоит новаторство подходов авторов работы (Ясмины Виманн из Йельского университета и ее коллег), я здесь говорить не буду: отечественные научнопопулярные СМИ уже успели крайне оперативно отреагировать и подробно ее осветить [2], [3], [4].

Я попробую сказать о том, в чем эти новые сведения требуют корректировки и где они могут быть неточны.

Рамановская спектроскопия действительно позволяет обнаруживать сложные органические молекулы, но что их можно выявлять и в столь древних остатках организмов, вызывает у ряда специалистов большие сомнения. Вполне возможно, исследователи видят не реальную картину, а то, что хотят увидеть, хотя авторы работы и говорят, что тщательно выбирали образцы, чтобы избежать постороннего биологического за-

Картина, полученная авторами, во многом подтверждает выводы уже имеющихся исследований: в очередной раз установлена теплокровность морских мезозойских рептилий — плезиозавров, подтверждена теплокровность летающих родичей динозавров — птерозавров. То, что тероподы (к ним относятся двуногие и преимущественно плотоядные динозавры) оказались в числе эндотермных животных, тоже предсказуемо. Лично я бы предположил, что у ранних динозавров, в том числе даже тероподов, все-таки был менее развитый метаболизм, но это сугубо мое мнение, а сейчас не о нем речь: эндотермия тероподов вполне ожидаема.

> Филогенетическое древо амниот с указанием типов терморегуляции (теплыми цветами показана более высокая скорость метаболизма) [1]

# Градусник для динозавра и суета вокруг варана

Юрий Угольников

С другой стороны, получены и результаты менее предсказуемые. Так, в число эндотермов попали и крупнейшие из динозавров – зауроподы, у которых часто подозревают гигантотермию (инерциальную гомойотермию) - то есть обычно считается, что им удавалось поддерживать

стабильно высокую температуру про-

сто за счет огромных размеров тела. Еще более неожиданно, что в числе холоднокровных существ оказались многие птицетазовые динозавры орнитисхии, в том числе гадрозавры и цератопсиды, представители которых жили и в конце мелового периода в бореальных широтах и даже за полярным кругом (в это время местный климат уже был достаточно суров и температура могла падать ниже 0 °C). Кроме того, сами авторы статьи отмечают, что такая скорость роста, которую демонстрируют гадрозавры, скорее характерна для животных теплокровных.

Совсем уж неожиданно, что в число эндотермов попадают вымершие представители ящериц-варанидов из рода *Saniwa*; авторы робко называют это факультативной эндотермией. Кажется, эта странность прямо указывает на ограниченность использованного метода. В организме выявляются окисленные молекулы, которые должны свидетельствовать о том, что

метаболизм животного достаточно развит, чтобы вырабатывать тепло самостоятельно, - по сути, мы узнаём об интенсивности использования животным кислорода. Конечно, это важно, но само по себе увеличение аэробной способности еще не означает, как мы видим в случае с варанами и их родичами, что существо действительно эндотермно.

У варанов (как минимум некоторых) более совершенный, чем у других лепидозавров, тип дыхания, в чем-то напоминающий птичий (но, естественно, без воздушных мешков намного менее эффективный, чем у пернатых). Я упоминал в своей (не слишком, к сожалению, удавшейся) книге «Динозавры против млекопитающих», что такой тип дыхания вероятен как минимум для двух видов варанов; возможно, сейчас есть данные и по каким-то еще видам. Впрочем, и без этих отдельных исключений дыхание у варанов довольно совершенное по рептильным меркам: ситуация «бежит – дышит» для варанов нормальна, так как у них в дыхании участвует не только грудная клетка, но и подъязычный аппарат. У варанов также более сложно, чем у большинства рептилий, устроено сердце и довольно специфически устроены митохондрии [5], [6]. Но главное – всё это еще не делает варанов понастоящему теплокровными.

Если мы хотим подтвердить хотя бы факультативную теплокровность, то на сегодняшний день обнаружена она только у черно-белых тегу, которые действительно периодически (в период размножения) способны поддерживать температуру выше температуры окружающей среды. Они ни разу не вараны. Однако у нас нет данных, позволяющих утверждать что такая факультативная теплокровность сказывается на накоплении в организме продуктов окисления жиров и сахаров, и если сказывается, мы не знаем, в какой степени. Быть может, в отличие от варанов, тегу показали бы накопление окисленных молекул, более по-

хожее на обнаруженное у обычных экзотермных существ.

Полагаю, некоторые животные, определенные в исследовании как теплокровные, могли иметь лишь уровень метаболизма близкий к тому, который мы наблюдаем у современных варанов.

Кроме того, важна не только возможность накопления окисленных молекул, но и то, идет ли это накопление на самом деле: пища того или иного животного могла быть богата веществами, препятствующими их накоплению (столь активно рекламируемыми сегодня антиоксидантами). В таком случае останки организма с активным метаболизмом будут иметь меньше окисленных молекул. чем следовало бы ожидать, и его можно будет записать в холоднокровные (да, это крайне маловероятно, почти невозможно, но всё же не исключено).

Несмотря на приведенную критику, данные, полученные Ясминой Виманн и ее коллегами, кажутся мне весьма интересными и важными для понимания экологии мезозоя (хотя и нуждающимися в корректировке). Мне не кажется невозможным, что часть орнитисхий действительно могла в какой-то степени замедлить свой метаболизм: в начале крайне

теплого мелового периода низкий уровень метаболизма мог дать даже какие-то эволюционные преимущества. В конце концов, и среди современных млекопитающих есть один очень известный вид, для которого поддерживать высокую температуру

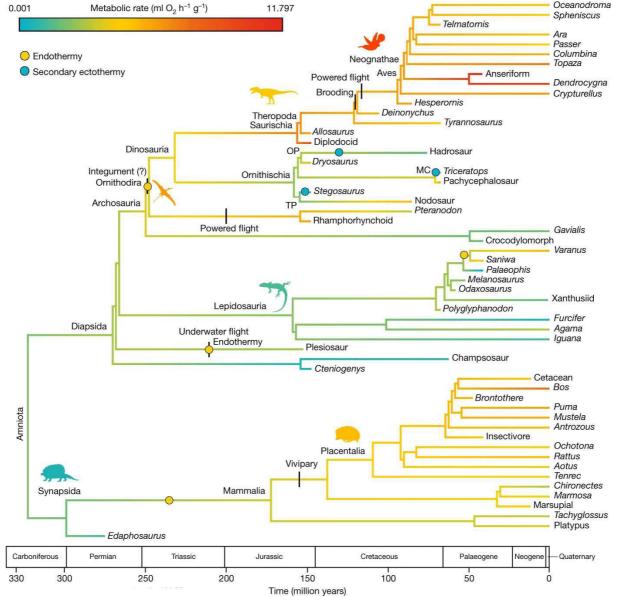
оказалось себе дороже: голый землекоп. От эндотермии землекопы отказались. Да, землекоп — случай исключительный, но можно привести и другие примеры замедления метаболизма у млекопитающих. Так, родичи современных двупалых ленивцев (входят с ними в одно семейство) мегалониксы еще не так давно (по геологическим меркам) жили на Аляске (считайте, что это происходило почти сегодня, а климат нынешней Аляски представить не трудно). Да, мегалониксы большие, и уже поэтому им проще сохранять тепло, но даже если мы увеличим современного ленивца до размера мегалоникса и будем беспрерывно снабжать его вкусными листьями, то в климатических условиях современной Аляски, сохранив нынешний неспешный метаболизм, он ну никак не выживет. Дело не только в том, что гигантские ленивцы были именно гигантскими, но и в том, что неспешный образ жизни их современных родственников в тропических и экваториальных лесах не требует не только суеты, но и лишнего обогрева. Ленивцам сейчас не нужен интенсивный метаболизм. Если уж вполне эндотермные существа могут отказаться от эндотермности или по крайней мере заметно замедлить темпы метаболизма, то для существ, чей метаболизм мог не сильно отличаться от метаболизма современных варанов (если такая корректировка полученных данных верна), это было и того проще.

Возможно и то, что зауроподы действительно поддерживали высокую температуру не только за счет размеров, хотя мы пока и не понимаем, какие именно специфические факторы позволяли мезозойским экосистемам выдерживать давление многотонных теплокровных гигантов, которым в этом случае постоянно требовалось просто колоссальное количество растительной пищи.

Еще раз: в целом данные, полученные Виманн и соавторами, кажутся мне правдоподобными, но всё же они нуждаются в корректировках и дополнениях и окончательную точку в истории изучения метаболизма динозавров не ставят. И конечно, нам еще предстоит осмыслить в их свете экологию мезозоя в целом.

Автор благодарит за помощь этого текста А. Журавлёва, К. Еськова и Л. Каташук.

- 1. nature.com/articles/s41586-022-04770-6
- 2. nkj.ru/news/43954
- 3. nplus1.ru/news/2022/05/27/fossilbiomolecules
- 4. polit.ru/news/2022/05/26/ps\_hot\_ blooded
- 5. scientificrussia.ru/articles/ uchenye-imkb-so-ran-sovmestno-szarubezhnymi-kollegami-rasshifrovaligenom-komodskogo-varana
- 6. link.springer.com/article/10.1007/ BF00738417



воспоминаниях Виталия Лазаревича Гинзбурга о Ландау описана любопытная квалификационная шкала ученых «по достижениям», составленная Львом Давидовичем в молодые годы. В ней исполь-

зовались десятичные логарифмы— т. е. считалось, что физик класса 1 сделал в 10 раз больше физика класса 2 и т. д.

«В этой шкале из физиков нашего века только Эйнштейн имел наивысший класс 0,5. Бор, Гейзенберг, Шрёдингер, Дирак и некоторые другие имели класс 1, а себя Ландау относил сначала только к классу 2,5, а потом перевел в класс 2 и, кажется, наконец, в класс 1,5. К классу 1 был отнесен и де Бройль, что вызывало некоторые возражения, но Ландау был тверд – наивысшее достижение де Бройля, пусть оно и не было подкреплено его дальнейшей деятельностью, действительно очень велико (речь идет о волнах материи. – Прим. В. Гинзбурга)» [1, с. 144].

Представитель древней аристократической фамилии Луи де Бройль стал, как и его старший брат Морис, физиком, но, в отличие от него, не экспериментатором, а теоретиком. Морис был ученым серетарем Первого Сольвеевского конгресса, проходившего в 1911 году в Брюсселе, и готовил к изданию его труды. Главной темой конгресса было обсуждение квантовой гипотезы Макса Планка. Морис пересказывал младшему брату выступления участников конгресса - лучших физиков того времени, показывал тексты их докладов. Эти рассказы пробудили у Луи интерес к физике атома. Впоследствии он

«Со страстностью, свойственной молодости, я увлекся обсуждавшимися проблемами и решил посвятить все свои силы выяснению истинной природы таинственных квантов, глубокий смысл которых еще мало кто понимал» [2, с. 347].

В 1924 году Луи де Бройль защищал в Сорбонне докторскую диссертацию «Исследования по теории квантов», где обосновывалась очень смелая гипотеза: каждую движущуюся материальную частицу можно рассматривать как волну, так называемую волну материи. Отсюда следовало, что в потоке электронов, например, можно наблюдать чисто волновые явления, такие как дифракция и интерференция. В то время это была лишь гипотеза. Соответствующие эксперименты были проведены три года спустя и полностью подтвердили предположение де Бройля.



Луи де Бройль, 1920-е годы

Работа де Бройля не вызвала большого интереса среди физиков: ее результаты были чересчур умозрительными. Правда, Альберт Эйнштейн, которому его друг Поль Ланжевен послал копию диссертационной ра-

# Эрвин Шрёдингер и открытие волновой механики

Евгений Беркович

боты де Бройля, воспринял ее восторженно: «Он приподнял угол великого занавеса» [3, с. 265].

По-настоящему оценить научный прорыв де Бройля его коллеги смогли только после появления революционных статей Эрвина Шрёдингера, открывшего так называемую волновую механику.



Эрвин Шрёдингер, 1929 год

Тем самым к Гёттингену, Копенгагену, Кембриджу и Гамбургу, где создавалась новая квантовая физика, добавился швейцарский Цюрих. В этом городе в начале 1920-х годов собрались сильные физики и математики: в университете работал родившийся в Вене Эрвин Шрёдингер, а в более известном Политехникуме, где учился Альберт Эйнштейн, преподавали, например, Петер Дебай и Герман Вейль. Отношения между учеными сложились дружеские, если не сказать большего; атмосфера благоприятствовала творческому поиску и научному сотрудничеству. Коллеги часто проводили совместные коллоквиумы для студентов университета и Политехникума.

Феликс Блох, впоследствии первый докторант Вернера Гейзенберга, в то время изучал физику в цюрихском Политехникуме. Позже он вспоминал, как на одном из таких заседаний осенью 1925 года профессор Политехникума Петер Дебай обратился к коллеге из университета с предложением:

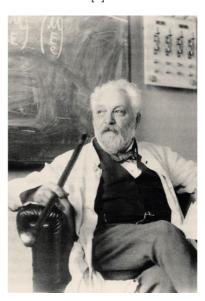
«Шрёдингер, в данный момент вы не заняты никакой важной прблемой. Не могли бы вы доложить нам о докторской работе де Бройля, которая привлекла к себе определенное внимание?» [4, с. 241].

Уже на следующем заседании коллоквиума Шрёдингер выступил с «чудесным и ясным сообщением», как выразился Феликс Блох, о работе Луи де Бройля. Докладчик особо выделил один результат работы: если допустить, что в стационарную орбиту электрона, движущегося вокруг ядра, длина волны, связанной с этим электроном, укладывается целое число раз, то квантовые условия Нильса Бора, введенные как постулаты, получаются автоматически. Далее произошло следующее:

«Когда докладчик закончил, Дебай заметил между прочим, что это преставление выглядит всё же по-детски. Как ученик Зоммерфельда, выступавший должен был бы знать, что для подходящего описания волны нужно иметь волновое уравнение. Это звучало довольно тривиально и не произвело большого впечатления, но Шрёдингер, очевидно, задумался над этой идеей более тщательно. Через несколько недель он снова выступил на коллоквиуме и начал такими словами: "Мой коллега Дебай порекомендовал использовать волновое уравнение. Ладно, я нашел его". И далее он рассказал, по сути дела, то, что можно считать первым из исследований, опубликованных в Annalen der Physik под названием "Квантование как задача о собственных значениях"» [4, с. 241].

Фактически на глазах Феликса Блоха всего через несколько месяцев после создания «Работы трех» рождалась «волновая механика», ставшая мощным конкурентом и соперником «матричной механики». Создатель нового подхода к квантовой физике Эрвин Шрёдингер, в отличие от Гейзенберга, Паули и Дирака, не был в то вемя «вундеркиндом». Он скорее принадлежал к поколению Макса Борна и Джеймса Франка, будучи всего на пять лет их моложе: Эрвин родился 12 августа 1887 года.

Как и Вернер Гейзенберг, Эрвин окончил классическую гимназию, где основными предметами были латынь и древнегреческий, и получил основательное гуманитарное образование. Кроме древних языков, он владел в совершенстве английским, испанским и итальянским. По словам его жены, он всегда был первым учеником в классе [5].



Профессор Франц Экснер, 1915 год

Так же старательно он учился в Венском университете, занимаясь теоретической физикой под руководством профессора Фрица Хазенёрля и экспериментальной физикой под руководством профессора Франца Экснера. В год поступления Шрёдингера в университет покончил с собой директор физического института и профессор кафедр теоретической физики и натурфилософии Людвиг Больцман. Тем не менее его влияние в Венском университете продолжало ощущаться. Во вступительной речи в Прусской академии наук Эрвин Шрёдингер вспоминал:

«Старый венский институт Людвига Больцмана, незадолго до моего появления так трагически ушедшего из жизни, где трудились Фриц Хазенёрль и Франц Экснер и через который прошли многие другие ученики Больцмана, дал мне возможность проникнуться идеями этого могучего ума. Круг этих идей стал для меня как бы первой любовью в науке, ничто другое меня так не захватывало и, пожалуй, никогда уже не захваmum» [6, c. 339].

На долю поколения Эрвина выпала Первая мировая война. Приват-доценты Борн, Франк, Шрёдингер служили на фронте. С окончанием войны в 1918 году распалась Австро-Венгерская империя, и вернувшемуся в науку Шрёдингеру профессорской должности на родине не нашлось. Обещанное ему место в Черновицком университете оказалось в другом государстве. В Германии, проигравшей войну, тоже свирепствовала инфляция, но положение было всё же лучше, чем в Австрии.

В 1920 году Шрёдингер женился на Аннемари Бертель. Затем поработал короткое время в университете Йены ассистентом Макса Вина, двоюродного брата профессора Вильгельма Вина из Мюнхена, позже получил должность экстраординарного профессора в Штутгарте и, наконец, ординарного профессора в Бреслау. Летом 1921 года поступило очень заманчивое предложение из Цюриха занять кафедру теоретической физики, первым экстраординарным профессором которой в 1909 году стал Эйнштейн. Эрвин оказался третьим профессором теоретической физики в этом университете (вторым был Макс фон Лауэ).

Назначение в Цюрих было для семьи Шрёдингеров подарком судьбы. Вокруг возвышались любимые им горы, воздух был целебен для его больных легких, а оклад швейцарского профессора не шел ни в какое сравнение с заработками немецких или австрийских коллег. Тем не менее богачом он себя не считал. Дух времени хорошо ощущается в письме Арнольду Зоммерфельду, написанном 7 марта 1925 года:

«Сердечный привет от моей жены. Она сегодня на балу... Звучит это немного анахронично, но это ее первый бал, так как время ее юности пало на военные годы, а после войны было не до балов. Честно сказать, я и сейчас считаю их чушью и предпочитаю студенческую вечеринку в немецком или австрийском стиле "утонченному" цюрихскому балу, где местные денежные аристократы красуются в ложах за 300 франков, а человек вроде простого профессора для них бедняк и плебс. Поэтому я позволил ей идти одной под крылышком Майера, Бера и Шерера – кроме того, входной билет за 25 франков, помноженных на два, – это слишком дорого для такого сомнительного удовольствия» [7, с. 81].

Эрвин тоже вполне мог уехать на курорт один — точнее, с очередной подружкой. В личных делах супруги предоставляли друг другу полную свободу.

В целом Цюрих оказался подходящим местом для этой австрийской пары. Немаловажным для Эрвина было и научное окружение. Особенно близкие отношения сложились у физика Шрёдингера с математиком Германом Вейлем. Впоследствии Аннемари вспоминала в интервью с Томасом Куном:

«Мы все вместе были хорошими друзьями<sup>1</sup>, и, конечно, Вейль очень интересовался работами моего мужа. Эрвин был очень, очень рад, что Вейль ему так много помогал и что он мог с ним говорить в любое время» [5].

<sup>1</sup> У Аннемари был многолетний роман с Вейлем, но отношения между учеными от этого не охладели.

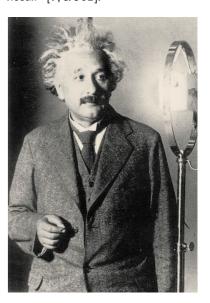
Особенно пригодилась помощь Вейля в период работы над волновой механикой. Друзья-коллеги договорились, что будут обсуждать возникающие проблемы в определенный день недели. Каждый вторник, по вечерам, они встречались, и Эрвин рассказывал о достигнутых результатах, а Вейль помогал выбраться из возникших математических трудностей.

На рождественские каникулы в конце 1925 года Шрёдингер уехал отдыхать и кататься на лыжах на знаменитый швейцарский курорт Ароза, столь любимый Томасом Манном, Германом Гессе и другими немецкими писателями и художниками.

Напряженной научной работе на лыжном курорте не помешало, а может, и способствовало то обстоятельство, что на отдых Эрвин поехал не с женой, а с новой молоденькой подружкой. Каникулы прошли результативно: в Арозе Эрвин завершил первую статью по волновой механике [8], а подружка через девять месяцев родила ему ребенка.

Конечно, схема Феликса Блоха, по которой открытие волновой механики совершилось за несколько недель после коллоквиума Дебая, слишком упрощена. Предложение Дебая сделать обзор работ де Бройля не было случайным - он знал, что Шрёдингер интересуется идеями де Бройля и хочет изучить их более тщательно. Сам интерес к работе французского физика-аристократа возник у Эрвина после чтения статьи Эйнштейна «Квантовая теория одноатомного идеального газа», опубликованной в докладах Прусской академии наук 9 февраля 1925 года. В этой статье великий физик упомянул работу де Бройля, о которой ему рассказал Поль Ланжевен, и отметил:

«Я подробнее остановлюсь на этой интерпретации, так как думаю, что здесь мы соприкасаемся с чем-то большим, чем простая аналогия» [9, с. 502].



Выступление Альберта Эйнштейна по радио по случаю юбилея открытия Томаса Эдисона, 1929 год

Вот эта фраза Эйнштейна и подтолкнула Шрёдингера вплотную заняться диссертацией де Бройля. Совет Дебая был лишь ожидаемым толчком. О роли Эйнштейна в создании волновой механики Шрёдингер признавался в письме автору теории относительности от 23 апреля 1926 года, когда серия основополагающих статей была почти готова:

«Впрочем, всё это дело не возникло бы ни теперь, ни когда-либо позже (я имею в виду свое участие), если бы Вы в Вашей второй статье о квантовой теории газов не шелкнули меня по носу, указав на важность идей де Бройля» [10, с. 253].

Весь цикл статей Шрёдингера о олновой механике бл опубликован в журнале Annalen der Physik в первом полугодии 1926 года. Первая работа была передана в редакции 27 января, шестая — 21 июня.



Эрвин Шрёдингер среди «волн материи». Цюрихское озеро вблизи Рапперсвиля, 1926 год

В первой работе было введено в оборот знаменитое уравнение Шрёдингера относительно некоторой «волновой функции», которую автор обозначил греческой буквой пси. Это обозначение закрепилось за ней и по сей день. Волновая функция, по представлению Шрёдингера, описывала электрон в атоме в виде стоячей волны. Такие волны можно наблюдать у колеблющейся струны скрипки или гитары, издающей звуки разных тонов (частот); среди них выделяются главный тон и обертоны. Такие же частоты у электронов в атоме соответствуют частоте испускаемого или поглощаемого света.

Уравнение Шрёдингера зависит от параметра Е, который означает энергию атома. Оказалось, что уравнение имеет приемлемое решение только при определенных значениях параметра Е, т. е. атом может существовать лишь в заданном наборе стационарных состояний. То, что Нильс Бор постулировал в 1913 году, оказывалось простым следствием уравнения Шрёдингера. В этом была суть волновой механики: не нужно ничего выдумывать и постулировать — знаменитые квантовые условия Бора - Зоммерфельда автоматически вытекали из новой теории австрийского физика из Цюриха.



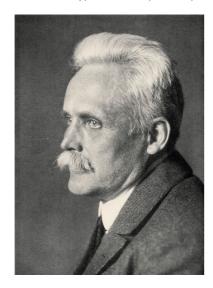
Эрвин Шрёдингер, 1940-е годы

В кульминационные дни работы над первой статьей Шрёдингер писал 27 декабря 125 года из Арозы гавному редактору журнала Annalen der Physik Вильгельму Вину — тому самому Вину, который чуть не завалил защиту докторской диссертации Вернера Гейзенберга:

«Сейчас меня замучила новая атомная теория. Если бы я только чуть больше понимал в математике! Я в этом вопросе настроен оптимистично и надеюь, что если я только осилю вычисления, то всё будет очень хорошо. Я думаю, что смогу задать колебательную систему — и при этом сравнительно естественным способом, не используя соображений из головы» [7, с. 83].

С математической точки зрения метод Шрёдингера состоял в том, что энергетические уровни — это собственные значения некоторого оператора. Сделав это открытие, он попытался применить его к атому водорода, учитывая релятивистскую механику движения электрона. Но здесь его ждало жестокое разочарование – результаты расчетов не совпадали с опытными данными. Расстроенный Шрёдингер забросил работу, посчитав свой метод ошибочным. На самом деле причина была в другом: методыл хорош, но не был учтен спин электрона — это понятие к тому времени еще не вошло в научный оборот.

Только через несколько месяцев, во время рождественского отдыха в Арозе, Эрвин вернулся к атому водорода, но без релятивистских эффектов, и метод сработал: результаты оказались точно такими, как у Нильса Бора в его первой работе о спектрах атомов, т. е. точно совпадающими с экспериментальными значениями (знаменитая формула Бальмера). Так с задержкой в несколько месяцев мир узнал о волновом уравнении Шрёдингера.



Вильгельм Вин, 1920-е годы

Через месяц после первой статьи «Квантование как задача о собственных значениях» в том же журнале Annalen der Physik появилось «второе сообщение» на ту же тему. В примечании к статье автор подчеркивал, что для ее понимания чтения первого сообщения не требуется. Более того, чисто логически вторая часть должна была бы предшествовать первой, так как здесь Шрёдингер описывает общую методику построения волновых уравнений, опираясь на найденную еще сто лет назад ирландским математиком и физиком Уильямом Гамильтоном аналогию между оптическими и механическими явлениями. Как геометрическая оптика, изучающая законы преломления и отражения лучей, является предельным случаем волновой, занятой интерференцией, дифракцией и рассеянием света, так и волновая механика, по представлению Шрёдингера, является обобщением классической механики. А разработанный Гамильтоном математический аппарат, применяемый и в геометрической оптике, и в классической механике, должен давать аналогичные результаты, если его применить как в волновой оптике, так и в волновой, т. е. квантовой, механике. Это позволило Шрёдингеру применить свой метод для более сложных систем, чем атом водорода, - практически для любых атомных объектов. Результаты оказались очень обнадеживающими. В письме профессору Вильгельму Вину от 22 февраля 1926 года, за день до поступления второй части статьи в редакцию Annalen der Physik, Эрвин делится своей радостью:

«Для меня время летит как на крыльях. Каждый второй или третий день снова приносит какую-то

новость — "это" работает, не я. "Это" великолепная классическая математика и гильбертовы пространства, чудесное здание теории собственных значений. Она разворачивает перед вами всё так ясно, что остается только принять результаты без усилий и забот... Я так рад, что этой ужасной механики, кажется, удалось избежать, с ее переменными действиями и вращательными моментами, а также с теорией возмущений, которую я никогда понастоящему не понимал. Сейчас всё стало линейным, всё следует одно из другого, рассчитывается всё так же легко и приятно, как в старой акустике» [7, стр. 86].

Ссылка на акустику здесь понятна: еще во время Первой мировой войны Эрвин приобрел опыт решения задач по распространению звука и опубликовал несколько научных работ на эту тему.

- 1. Виталий Лазаревич Гинзбург. К 100-летию со дня рождения. Книга-альбом / Авторы-сост. В.М. Березанская, М.А. Лукичёв, Н.М. Шаульская. М.: издательство «РМП», 2017.
- 2. Де Бройль Л. По тропам науки. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.
- 3. Де Бройль Л. Избранные научные труды. Т. 4. М.: Принт-Ателье, 2014.
- 4. Bloch F. Reminiszenzen an Werner Heisenberg und die Frühzeit der Quantenmechanik // Ch. Kleint, H. Rechenberg und G. Wiemers (Hrsg.). Werner Heisenberg 1901–1976. Leipzig: Verlag der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, 2005. S. 240–246.
- 5. Annemarie Schrodinger. Interviewed by Thomas S. Kuhn. 5 April 1963 // American Institute of Physics. Oral History Interviews. aip.org/historyprograms/niels-bohr-library/oralhistories/4865
- 6. Вступительная речь Э. Шредингера в Прусской академии наук // Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976. С. 339–
- 7. Hermann A. Die Jahrhundertwissenschaft. Werner Heisenberg und die Physik seiner Zeit. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt,
- 8. Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem (Erste Mitteilung) // Annalen der Physik. 1926. Vierte Folge. Band 79. S. 361–376.
- 9. Эйнштейн А. Квантовая теория одноатомного идеального газа. Второе сообщение // Собрание научных трудов в 4 т. Т. III. М.: Наука, 1966. С. 489–502.
- 10. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики / Пер. с англ. В.Н. Покровского. Под ред. Л.И. Пономарева. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.



Эрвин Шрёдингер в Оксфорде, 1934 год

# Сеять и сажать



#### Уважаемая редакция!

В трудную годину как никогда важно вести деятельность просветительскую, так сказать, сеять разумное, доброе, вечное. Но в столь сложной обстановке нужно делать это не абы как, а в соответствии со специальными правилами, которые регламентируют подобную деятельность и не

дают чуждым силам возможностей воздействовать на неокрепшую психику юного поколения, сеять вредоносные и провокационные идеи. В этом отношении наши законодатели уже провели определенную работу, приняв закон о просветительской деятельности, а недавно и правительство утвердило правила ведения просветительской деятельности.

Конечно, из-под регулирования была выведена деятельность, связанная с культурнопросветительской работой религиозных организаций. Естественно, проверенных религиозных организаций. Это и понятно: если навязывать таким организациям какие-то сложные правила, то можно учинить серьезные препятствия сотворению духовных скреп, без которых наша страна не сможет сохранить самобытность своего пути.

С другой стороны, абсолютно правильно предъявленное к иностранным агентам требование маркировать свою овечью шкуру волчьим знаком. Нельзя позволять антироссийским силам бесконтрольно реализовывать свои пропагандистские мероприятия в школьной и студенческой среде под видом просветительской деятельности!

Чиновники будут получать уведомления о планируемых просветительских мероприятиях и проверять, соответствует ли планируемое утвержденным правилам и интересам России. И это очень здорово. Попыткам вражеских сил оболванить молодое поколение поставлен надежный заслон! Пусть либералы стенают и охают, не стоит обращать на это никакого внимания: интересы дела — вот что должно учитываться в первую и вторую очередь.

Считаю, что это один из тех шагов, которые закладывают здоровый фундамент нашего общества. Вообще, в условиях специальной военной операции всё быстро становится ясным и понятным. Это вам не мутная вода мирного времени, тут все быстро делятся
на своих и чужих: тех, кто в сложное время остается со своей страной, и тех, кто бежит
в какую-нибудь уютную заграницу и охаивает действия нашего руководства. Обычно это
делается с безопасной дистанции, ибо перевертыши, в отличие от истинных патриотов
и наших солдат, не готовы рисковать не только жизнью и здоровьем, но даже мещанским благополучием.

В такое время особое значение приобретают знаки и символы, которые позволяют отделить своих от врагов, позволяют консолидировать нацию, сплотить ее для выполнения поставленных задач. В этом отношении мне очень правильными кажутся те решения в отношении использования российского флага, которые принимаются и предлагаются. Поднятие флага, исполнение гимна в российских школах в начале учебной недели — это еще один важный шаг в насаждении правильных, патриотических символов, так сказать, высевании зерен патриотизма.

Считаю, что нельзя ограничиваться школами, необходимо продолжать патриотическое воспитание молодежи и в вузах! Так и представляю, как толпа студентов и преподавателей заполняет площадь перед главным зданием МГУ, как поднимается российский флаг и исполняется гимн. А вечером, в темное время суток, на главном здании можно демонстрировать патриотические световые картины, портреты президента России и военачальников, сопровождая видеоряд патриотической музыкой.

Но конечно, во всём хороша мера. Даже во время боевых действий. Русская душа очень широка, и, увы, иногда эта широта дает некоторые нежелательные эффекты. По сообщениям СМИ, в начале июля в следственном изоляторе «Лефортово» умер новосибирский ученый Дмитрий Колкер, задержанный по обвинению в передаче Китаю сведений, составляющих государственную тайну. За пару дней до этого он был взят под стражу прямо в больничной палате, где проходил лечение, — у него была четвертая стадия рака поджелудочной железы. Проще говоря, человеку жить оставалось уже недолго. Я понимаю, что обстановка сейчас сложная и кругом враги, что сажать врагов надо. Но, дорогие коллеги, случившееся — это уже перебор: такие ретивые действия отдельных сотрудников спецслужб льют воду на вражескую мельницу, позволяя врагам представлять наше государство бездушным и бесчеловечным, тогда как на самом деле русские — мирные, душевные и милосердные люди.

Однако из любых, даже печальных, событий мы, люди науки, должны извлекать уроки. Я уже раньше писал про то, что разумным научным работникам следует по возможности свести к минимуму контакты с иностранцами. Общение, конференции, чтение лекций... Вроде бы Китай — дружественная страна, содержание лекций было проверено и всё такое, а вот поди ж ты... Поэтому всем нужно зарубить себе на носу: меньше контактируешь — позже сядешь!

Ваш Иван Экономов

#### ИНФОРМАЦИЯ

#### Помощь газете «Троицкий вариант — Наука»

Дорогие читатели!

Мы просим вас при возможности поддержать «Троицкий вариант» необременительным пожертвованием. Почти весь тираж газеты распространяется бесплатно, электронная версия газеты находится в свободном доступе, поэтому мы считаем себя вправе обратиться к вам с такой просьбой. Для вашего удобства сделан новый интерфейс, позволяющий перечислять деньги с банковской карты, мобильного телефона и т. п. (trv-science.ru/vmeste).

«Троицкий вариант — Наука» — газета, созданная без малейшего участия государства или крупного бизнеса. Она создавалась энтузиастами практически без начального капитала и впоследствии получила поддержку фонда «Династия». Аудитория «Троицкого варианта», может быть, и невелика — десятки тысяч читателей, — но это, пожалуй, наилучшая аудитория, какую можно вообразить. Газету в ее электронном виде читают на всех континентах — везде, где есть образованные люди, говорящие на русском языке. Газета имеет обширный список резонансных публикаций и заметный «иконостас» наград.

«Троицкий вариант» в значительной степени выживает на энтузиазме коллектива. Каждый, кто поддержит газету, даст ей дополнительную опору, а тем, кто непосредственно делает газету, — дополнительное моральное и материальное поощрение.

Редакция

# «Пожилые были полны энтузиазма, а молодые не верили»

Евгений Беркович

#### Как воспринимали волновую механику коллеги Эрвина Шрёдингера

Физический мир принял результаты Эрвина Шрёдингера не просто с облегчением, а с великой радостью. Квантовая механика в изложении Гейзенберга, Борна и Йордана или в форме, предложенной Дираком, выглядела научно обоснованной, но не очень понятной. Даже Джеймс Франк признавался, что ничего в матрицах и операторах не смыслил. Опыта работы с матрицами практически не было ни у кого. Только могучий математический талант Паули позволил ему рассчитать спектр атома водорода с помощью новой квантовой механики. Другие даже браться за подобные задачи опасались.

И вот австриец, работающий в Швейцарии, находит совершенно другой путь решения квантово-механических задач. У него нет никаких непонятных матриц. Он предлагает решать привычные для большинства физиков дифференциальные уравнения, по виду очень похожие на уравнения классической физики и доступные для решения специалисту средней квалификации.

Вдова автора волновой механики Аннемари Шрёдингер в интервью Томасу Куну отметила любопытную закономерность в отношении различных ученых к открытию ее мужа: «Более пожилые люди были полны энтузиазма. А молодые не верили» [1].

Среди тех, кто с энтузиазмом встретил открытие Шрёдингера, Аннемари называет Планка, Эйнштейна, Зоммерфельда... А вот гёттингенские физики — Гейзенберг, Борн, Йордан были настроены, по ее словам, скептически. В отношении Борна госпожа Шрёдингер не совсем права. Он говорил о достижении ее мужа: «Что существует более выдающегося в теоретической физике, чем его первые шесть работ по волновой механике?» [2, с. 384]. Правда, это было сказано спустя несколько десятилетий после описываемых событий. Но и в то время, когда выходили в свет первые статьи Шрёдингера, Борн выражал восхищение простотой и наглядностью методов волновой механики. В начале 1926 года он работал вместе с Норбертом Винером в Массачусетском технологическом институте над процессами соударений. В том, что матричная механика позволяет решить любую задачу атомной физики, Борн был уверен. Но волновая механика часто позволяет решить ту же задачу проще и элегантнее, как он писал Шрёдингеру 16 мая 1927 года [3, 266], и в статье, вышедшей после возвращения из США в Гёттинген, Борн называл волновую механику «глубозаконов» [4, с. 864].

Вернер Гейзенберг долго не мог простить своему бывшему шефу это признание. Он написал Борну письмо, в котором прямо обвинял его в измене: «Вы дезертировали из нашего лагеря; Вы перешли на сторону нашего врага Шрёдингера» [5].

К признанию волновой механики Борн пришел не сразу. Как он вспоминал в интервью с Томасом Куном, после первой статьи Шрёдингера новый подход смущал его:

«Я знал, что интегральные уравнения и алгебра часто идут параллельно, но что дифференциальные уравнения этого типа тоже тесно связаны с алгеброй, было для меня удивитель-

но, и я не мог этого до конца понять. Поэтому я написал Паули. И Паули буквально на двух страничках объяснил мне, в чем состоит эта связь» [5].



Вольфганг Паули во время Седьмого всесоюзного конгресса физиков в Одессе, август 1930 года.

Вольфганг Паули, как всегда, одним из первых разобрался в значении работы Шрёдингера. Уже в апреле 1926 года он писал Паскуалю Йордану:

«Я думаю, что эта работа относится к самым значительным работам последнего времени. Прочти ее внимательно и с благоговением» [3, с. 264].

Макс Планк говорил об уравнении Шрёдингера, что *«оно занимает в современной физике такое же место, какое в классической механике занимают уравнения, найденные Ньютоном, Лагранжем и Гамильтоном»* [6, с. 420]. Восхищение работами Шрёдингера было столь глубоким, что Планк рекомендовал его на свое место профессора Берлинского университета. Эрвин Шрёдингер занял это место в 1927 году.

Здесь уместно вернуться к разговору Вернера Гейзенберга и Альберта Эйнштейна, состоявшемуся 28 апреля после выступления Гейзенберга на физическом коллоквиуме в Берлине. Тогда эта длительная беседа с глазу на глаз произвела на Гейзенберга сильное впечатление. Он не раз обращался к ней в своих воспоминаниях. Многие высказывания великого физика оказались для его молодого коллеги неожиданными. Изумило Гейзенберга возражение Эйнштейна на главный постулат квантовой механики: использовать в теории только наблюдаемые величины. Ведь Гейзенберг сам отталкивался от идеи Эйнштейна, лежащей в основе теории относительности. Идея состояла в том, что нельзя говорить об абсолютном времени потому, что это абсолютное время невозможно наблюдать: для определения времени значимы лишь показания часов, будь то в подвижной или покоящейся системе отсчета. Теперь же автор теории относительности говорил совершенно другое:

«Возможно, я и пользовался философией этого рода, — отвечал Эйнштейн, — но она тем не менее чушь. Или, сказал бы я осторожнее, помнить о том, что мы действительно наблюдаем, а что нет, имеет, возможно, некоторую эвристическую ценность. Но с принципиальной точки зрения желание строить теорию только на наблюдаемых величинах совершенно нелепо. Потому что в действительности всё ведь обстоит как раз наоборот. Только теория решает, что именно можно наблюдать» [7, с. 191–192].

Далее выдающиеся физики современности порассуждали об общих проблемах познания природы, обсудили концепцию «экономии мышления» Эрнста Маха, после чего Эйнштейн снова вернулся к квантовой механике. Гейзенберг, как известно, отрицал возможность наблюдения траектории электрона внутри атома. В то же время в камере Вильсона<sup>1</sup> наглядно виден путь электрона, залетевшего внутрь камеры. Эйнштейн, как обычно, категоричен:

«Это, же, согласитесь, очевидная чушь. Нельзя ведь из-за простого уменьшения пространства, в котором движется электрон, отменять само понятие его траектории» [7, с. 194].

Гейзенбергу пришлось защищаться, откладывая окончательный ответ на неопределенное время:

«Пока мы вообще еще не знаем, на каком языке можно говорить о том, что происходит внутри атома. У нас, правда, есть математический язык, т. е. математическая схема, с помощью которой мы можем вычислить стационарные состояния атома или вероятности перехода от одного состояния к другому. Но мы еще не знаем – по крайней мере, полностью не знаем, – как этот язык связан с обычным языком. Разумеется, установить эту связь нам необходимо, чтобы иметь хотя бы возможность приложить теорию к экспериментам. Ведь об экспериментах мы всегда говорим на привычном языке, т. е. на языке классической физики. Я поэтому не могу утверждать, что мы уже поняли квантовую механику. Надеюсь, что математическая схема уже в полном порядке, однако ее связь с обычным языком еще не установлена. Лишь когда это удастся, появится надежда описать и траекторию электрона в камере Вильсона, не впадая во внутренние противоречия. Для разрешения описанных Вами трудностей просто пока еще время не подошло» [7, с. 194].



Вернер Гейзенберг, 1939 год

Эйнштейн согласился отложить разговор на несколько лет, но задал Вернеру трудный вопрос, на который никто в то время ответить не смог бы: как связать дискретные скачки электронов из одного стационарного состояния в другое с очевидно непрерывными явлениями, характерными для волн? Гейзенбергу пришлось сослаться на Нильса Бора, считавшего,

<sup>1</sup> Камера Вильсона — прибор для регистрации траекторий заряженных частиц, в частности электронов. Камера наполнена пересыщенными водяными парами, которые конденсируются на ионах, сопровождающих след быстрой заряженной частицы.



Джеймс Франк (слева) и Пауль Эренфест на траве. Справа дочь Эренфеста. 1920-е годы

что процесс перехода или «скачка» нельзя описывать как процесс в пространстве и времени. Мы тут ничего еще не знаем. Всё, что можно сказать, Гейзенберг свел к следующему:

«Излучение явно заключает в себе момент дискретности, который Вы изображаете с помощью Ваших световых квантов. Но, с другой стороны, есть и явный элемент непрерывности, который дает о себе знать в явлениях интерференции и который проще всего описать с помощью волновой теории света. Конечно, Вы имеете полное право спросить, можно ли от квантовой механики, которая и сама-то пока еще по-настоящему не понятна, узнать что-либо новое в отношении этих устрашающе трудных вопросов. Я лично думаю, что на это, по крайней мере, можно надеяться» [7, с. 195].

Тогда Вернер еще не знал, что скоро, буквально через несколько месяцев, он будет дискутировать с Эрвином Шрёдингером на тему, нужна ли дискретность при описании атома. Как мы увидим, Шрёдингер был убежден, что все процессы в атоме прекрасно описываются без скачков, только на основании его волновой механики, против чего принципиально возражал Гейзенберг.

Имя Шрёдингера ни разу не прозвучало во время беседы Эйнштейна и Гейзенберга, хотя обоим оно было знакомо. В те дни, когда Вернер только готовился к докладу в Берлине, он сообщил Полю Дираку (письмо от 9 апреля 1926 года):

«Пару недель назад я получил работу Шрёдингера из журнала Annalen der Physik (Band 79, Heft 4, S. 361, 1926), чье содержание, на мой взгляд, должно быть математически тесно связано с квантовой механикой. Рассматривали ли Вы взаимозависимость шрёдингеровского подхода к атому водорода с квантово-механическим? Меня особенно интересует этот вопрос потому, что я верю, что физическое, принципиальное значение формализма может многого добиться» [8, с. 463].

В это время противопоставление волновой и матричной механик еще не набрало высокого градуса, поэтому мнение Гейзенберга о будущем теории Шрёдингера пока вполне оптимистичное.

Альберт Эйнштейн, со своей стороны, стоял всецело на стороне новой теории, хотя и не высказывал это Гейзенбергу явно. За двенадцать дней до выступления Вернера в Берлине, 16 апреля 1926 года, Эйнштейн написал Шрёдингеру в Цюрих:

«Господин Планк с обоснованным восхищением показал мне Вашу теорию, которую я изучил с огромным интересом. <...> Идея Вашей работы имеет все признаки гениальности» [9, с. 213–214].

А за два дня до разговора с Вернером в своей квартире на Хаберландштрассе Эйнштейн в письме Шрёдингеру от 26 апреля хвалит его и порицает квантовую механику Гейзенберга — Борна:

«Я убежден, что Вы с Вашей формулировкой квантовых условий сделали решающий шаг вперед, точно так же я убежден, что путь Гейзенберга — Борна ошибочный» [9, с. 217].

Но об этом Эйнштейн не сказал Гейзенбергу ни слова!

С первой статьи Эрвина Шрёдингера 1926 года его новую теорию противопоставляли матричной механике Гейзенберга и его коллег из Гёттингена. И правда, трудно привести еще один пример двух теорий одних и тех же явлений, столь отличавшихся друг от друга и по математической форме, и по физической сути.

Теория Гейзенберга — Борна — Йордана, а также ее вариант, предложенный Дираком, принципиально отказывались от какого-либо наглядного толкования. Это был алгебраический подход, использующий некоммутируемые величины (матрицы, операторы). Во всем построении главную роль играло понятие прерывности. За основу был взят факт дискретности спектральных линий, являющийся следствием отдельных «скачков» системы из одного стационарного состояния в другое. В конечном счете главным понятием этого подхода была частица.

Напротив, теория Шрёдингера легко допускала наглядные толкования, опиралась на привычный аппарат дифференциальных уравнений, похожий на тот, который используется в механике сплошных сред. Это был аналитический подход, обобщающий классические законы движения и подчеркивающий идею непрерывности. Матрица — математический аппарат дискретных процессов, а дифференциальное уравнение — непрерывных. Само название теории Шрёдингера показывает, что основным ее элементом является не частица, а волна.

И тем не менее оба подхода позволяли получать одни и те же результаты, подтверждаемые экспериментом. Эйнштейн так прокомментировал сложившуюся ситуацию:

«До настоящего времени у нас не было истинной квантовой теории, а сегодня неожиданно появились целых две. Обе теории взаимно исключают друг друга. Какая из них правильная? Возможно, никакая» [10, с. 93–94].

Но такое неопределенное положение продержалось недолго. Наиболее проницательные исследователи быстро догадались: оба подхода эквивалентны, и совпадение результатов – не случайность, а следствие фактической тождественности обеих теорий. Среди первых был, как и положено, Вольфганг Паули, который описал доказательство тождественности двух теорий в письме Паскуалю Йордану от 12 апреля 1926 года. Правда, по какой-то причине он не стал публиковать это доказательство, хотя копию письма Йордану сохранил в своем архиве [10, с. 94]. А первым опубликованным доказательством равносильности волновой и матричной механик стала статья Эрвина Шрёдингера,

отпрвленная в редакцию журнала Annalen der Physik 18 марта и опубликованная 4 мая 1926 года. В ней он писал, в частности:

«При чрезвычайном различии <...> очень странно, что эти две новые квантовые теории совпадают там, где они отличаются от старой квантовой теории. Назову, прежде всего, своеобразную "полуцелочисленность" при осцилляторе и ротаторе. Это, действительно, очень непонятно, так как истоки, представления, методы, весь математический аппарат кажутся принципиально различными» [11, c. 734].

Поучителен следующий эпизод, имевший место в Гёттингене в те дни, когда Борн и его команда работали над созданием матричной механики. Большого опыта с матрицами у них не было, поэтому они решили получить квалифицированную консультацию у самого Давида Гильберта, благо тот работал в том же Гёттингенском университете. Великий математик внимательно выслушал коллег-физиков и сказал, что ему самому приходилось встречаться с матрицами только при поиске собственных значений краевых задач для дифференциального уравнения. Поэтому если поискать дифференциальное уравнение, для которого характерны ваши матрицы, то можно, наверно, узнать о них больше. Физики сочли, что это бестолковая идея, а Гильберт, которому в 1925 году было уже 63 года, просто не понимает, о чем его спрашивают, и ушли ни с чем. Поэтому, как рассказывал Эдвард Кондон, посетивший Гёттинген как член международного совета по образованию:

«Гильберт получил массу удовольствия, указав им на то, что они могли бы открыть волновую механику Шрёдингера на полгода раньше, если бы с бо́льшим вниманием отнеслись к его словам» [12, с. 206].

Как ни странно, доказательство эквивалентности двух подходов — Гейзенберга и Шрёдингера — не прекратило споров между ним, а только подлило масла в огонь: перепалки между представителями двух направлений стали эмоциональнее. Каждая сторона стремилась отделить себя от противоположной, возвысить свой подход за счет другого. В сноске в статье, доказывающей равносильность волновой и матричной механик, Шрёдингер отметил:

«Моя теория была вызвана работами Л. де Бройля и коротким, но бесконечно прозорливым замечанием А. Эйнштейна. Какой бы то ни было генетической связи с работами Гейзенберга я не чувствую. Я имел, конечно, представление о его теории, но из-за трудно мне дававшихся методов трансцендентной алгебры и отсутствия наглядности это отпугивало меня, более того, вызывало отвращение» [11, с. 735].

Пропасть между физиками Гёттингена, Гамбурга и Копенгагена, с одной стороны, и Шрёдингером, с другой, не становилась меньше, напротив, противоречия обострились. В письме Йордану от 8 апреля 1926 года Гейзенберг назвал статью Шрёдингера «мерзко интересной» (saumäßig interessant) и, в отличие от Борна, отказался признать, что волновая механика хоть в чем-то имеет преимущество перед матричной [3, с. 266].

В июне того же года Вернер разоткровенничался перед другом Паули:

«Чем больше я думаю о физической части теории Шрёдингера, тем более сомнительной я ее нахожу. То, что пишет Шрёдингер о ясности, едва ли имеет смысл; иными словами, я считаю, что это вздор» [10, с. 94].

В этом отрывке трудно узнать всегда сдержанного и уравновешенного Гейзенберга. Это высказывание, скорее, в стиле язвительного Паули, не стеснявшегося остро критиковать чужие теории. Повышенную эмоциональность автора квантовой механики можно понять. Шрёдингер выступал с опровержением основных физических и философских опорных точек Гейзенберга: отказа от «наглядности» квантовых процессов и принципиальной ненаблюдаемости внутриатомных явлений.

Эрвин Шрёдингер, начиная с первой статьи о волновой механике, подчеркивал свои принципиальные расхождения с авторами механики матричной. Если они во главу угла ставят дискретые квантовые скачки, то его задача - показать, что всё в природе непрерывно и принципиального различия с классической физикой в квантовом мире нет. Он верил, что его теория вернет квантовой физике наглядность физики классической.

Не согласен Шрёдингер с Гейзенбергом и в вопросе наблюдаемых величин. В письме своему единомышленнику Вильгельму Вину от 18 июня 1926 года Шрёдингер подчеркивал:

«Все философствования о "принципиальной ненаблюдаемости" пытаются завуалировать нашу неспособность угадать истинные картины».

В будущем, считает Шрёдингер, победит наглядность волновой механики и исследователи «не будут чувствовать себя обязанными изгонять наглядность из атомной физики и оперировать только такими абстрактными понятиями, как вероятности переходов, уровни энергии и тому подобные» [3, с. 267].

Во второй статье, посвященной волновой механике, Шрёдингер делает примирительное заявление:

«В этом месте я не могу обойти молчанием тот факт, что в настоящее время со стороны Гейзенберга, Борна, Йордана и некоторых других выдающихся исследователей<sup>2</sup> предпринимается попытка устранения квантовых трудностей, которая связана со столь примечательным успехом, что трудно сомневаться, что она содержит по крайней мере часть истины. В тенденции предлагаемая попытка стоит рядом с попыткой Гейзенберга, о чем мы выше уже говорили. Если говорить о методах, то они toto genere<sup>3</sup> так различаются, что мне не удалось найти между ними связь. Я лелею вполне определенную надежду, что эти два подхода не будут воевать друг с другом, более того, как раз из-за исключительного различия их истоков и методов они будут дополнять друг друга, при этом один окажется полезным там, где другой откажет. Сила гейзенберговской программы состоит в том, что она обещает дать интенсивность спектральных линий; этой проблемой мы пока не занимались. Сила предлагаемого метода – если мне будет позволено произнести приговор — в руководящей физической идее, которая наводит мосты между макроскопическими и микроскопическими механическими явлениями и делает понятными совершенно различные подходы, которых они требуют» [13, c. 513 – 514].

Этим заявлением Шрёдингер, с одной стороны, признаёт приоритет Гейзенберга и всей гёттингенской команды, с другой – утверждает, что его волновая механика более наглядна и не уступает по силе матричной механике. Более того, рассматривая электрон в атоме как волну, Шрёдингер надеется, что можно обойтись без непонятных, с точки зрения классической физики, квантовых скачков электронов из одного стабильного состояния в другое.

Неудивительно, что физики, недовольные отказом квантовой механики от детерминированной картины мира, – а среди них был не только ортодокс Вильгельм Вин, но и Альберт Эйнштейн – возлагали на теорию Шрёдингера большие надежды. Мюнхенский профессор-экспериментатор Вин, редактор журнала Annalen der Physik, публиковал все статьи о волновой механике, хотя не очень понимал математические выкладки. Поэтому он пригласил автора этих работ в гости, чтобы тот помог ему разобраться в новой теории. Вот что об этом говорила Аннемари Шрёдингер:

«Вилли Вин был в Мюнхене и очень интересовался. Он пригласил нас в свою летнюю резиденцию, так что он мог беседовать с моим мужем; это был для него более простой путь разобраться в основных идеях. Мы были с ним в деревушке Миттенвальд. Он пригласил нас только для того, чтобы не читать статьи, а получить объяснения от моего мужа непосредственно» [1].



Пауль Эренфест, конец 1920-х годов

Квантовая механика показалась слишком сложной и ироничному Паулю Эренфесту, который внимательно следил за развитием событий в Гёттингене, Кембридже и Копенгагене из голландского Лейдена. В письме Эйнштейну от 26 августа 1926 года Эренфест докладывает:

«Сначала я был в Гёттингене, потом в Оксфорде (собрание Британской ассоциации) и Кембридже. Теперь я страдаю расстройством желудка, вызванным бесконечным колбасным производством физического предприятия Гейзенберга — Борна — Дирака — Шрёдингера» [14, с. 278].

Вернер Гейзенберг и его коллеги успешно решали с помощью матричной механики те задачи атомной физики, в которых существенную роль играл спин. Волновой механике это до поры до времени не удавалось. Зато другие задачи рассчитывались с помощью уравнения Шрёдингера быстрее и проще, чем методами Гейзенберга – Борна – Йордана. Показательна даже терминология. Свою теорию эти три автора называли «квантовой механикой», а другой подход – только «теорией или методом Шрёдингера». Сам же Шрёдингер называл свою теорию «волновой механикой»

Когда Томас Кун спросил Аннемари Шрёдингер, беспокоила ли ее мужа реакция коллег из Гёттингена, она решительно ответила:

«Нет, нет, нет, нет. Не беспокоила. Он чувствовал себя очень уверенно в отношении своей идеи» [1].

Эту уверенность подкрепляли восторженные реакции других физиков, перед которыми Шрёдингер выступал с докладами и лекциями. Возможность выступить перед наиболее авторитетными физиками того времени представилась очень скоро, практически сразу, как только были написаны все шесть работ, заложивших начала волновой механики. В том же Цюрихе с 21 по 26 июня по инициативе Политехникума проводился Международный физический конгресс под названием «Неделя магнетизма» (Magnetische Woche). С докладами на нем выступали Поль Ланжевен, Вольфганг Паули, Отто Штерн, Арнольд Зоммерфельд и многие другие известные физики. Получил приглашение и Эрвин Шрёдингер. Сохранилась его докладная записка от 18 июня декану философского факультета Цюрихского университета профессору Жану Штролю (Jean Strohl) с просьбой освободить его от обязанностей лектора в те дни, когда ему нужно было выступать с докладами:

«К сожалению, я вынужден отменить мои лекции в ближайшие среду 23 и пятницу 25 июня. В эти дни и в те же часы в рамках так называемой "Недели магнетизма" состоятся доклады выдаюшихся ученых моей специальности. приглашенных в Цюрих Политехникумом. Дело не только в том, что мне не хотелось бы отменять свои доклады, — мое отсутствие воспринялось бы участниками конгресса как невежливость, - но и в том, что записавшиеся на мои доклады слушатели потеряли бы гораздо больше, чем студенты моих несостоявшихся занятий» [9, с. 246].

Обстановка на конгрессе царила дружеская, физики общались не только в аудиториях. Аннемари Шрёдингер запомнилось, как все участники конгресса выезжали на Цюрихское озеро; во время интервью с Куном она показывала фотографии той поездки [Schrödinger, 1963]. Доклады Эрвина Шрёдингера большинством участников были приняты с воодушевлением, но сторонники матричной механики видели в его построениях и слабые места. Ошибочность принципиальной установки Шрёдингера убрать из квантовой теории скачки и дискретность, заменив их непрерывной волной, отметил Паули в письме от 22 ноября 1926 года:

«Что касается моего замечания о цюрихской местной ереси, то я бы тебя просил не считать его моей нелюбезностью персонально к тебе; трактуй его как выражение моего профессионального убеждения, что квантовые явления в природе показывают такую свою особенность, которую понять и описать только понятиями физики непрерывности (теории поля) просто невозможно. Не верь, что эта убежденность делает мою жизнь легче, я уже из-за нее здорово измучился и должен буду и дальше продолжать в том же духе» [9, с. 356]

Подобная критика до Шрёдингера не доходила, он непоколебимо стоял на своем: скачков в природе нет, всё можно объяснить с помощью непрерывной волны. Аннемари вспоминала об отношениях Паули с Эрвином:

«Паули иногда очень критиковал моего мужа, делал это довольно грубо, но мой муж не вступал в спор по существу. На грубость он мог сказать грубость, и это было лучшим ответом; они все равно оставались очень хорошими друзьями» [1].

Между тем популярность Эрвина Шрёдингера росла. Макс Планк, глава берлинской школы физиков, пригласил его выступить в июле перед членами Немецкого физического общества. Договорились, что Шрёдингер выступит дважды: один раз в пятницу 16 июля перед большой аудиторией с обзорным

докладом без технических деталей, а второй раз — на следующий день, утром в субботу 17 июля, на коллоквиуме в университете. В знак особого уважения к докладчику Планк пригласил

> Эрвин Шрёдингер (слева) и Вернер Гейзенберг (справа) со шведским наследным принцем Георгом Адольфом во время нобелевского банкета 10 декабря 1933 года, Стокгольм

его остановиться у него в доме. В субботу вечером, после второго доклада, гостеприимный хозяин устроил у себя прием избранных гостей. Собрался весь цвет столичной физики. И Планк, и Эйнштейн были очарованы австрийским коллегой из Цюриха. Даже Эйнштейн, всегда критически относившийся к новым теориям, не устоял перед радужной картиной понятного физического мира, которую обещала волновая механика. В письме Зоммерфельду от 21 августа 1926 года он признавался: «Из новых попыток достичь более глубокой формулировки квантовых законов мне более других нравится подход Шрёдингера». Напротив, «теории Гейзенберга и Дирака вызывают, правда, восхищение, но действительностью в них и не пахнет» [15, с. 108].

И хотя квантовая механика в ходе развития много раз потом доказывала свою эффективность, великий ученый до конца жизни оставался при своем убеждении.

- 1. Annemarie Schrödinger. Interviewed by Thomas S. Kuhn // American Institute of Physics. Oral History Interviews. 5 April 1963. aip.org/history-programs/niels-bohr-
- library/oral-histories/4865 2. Шрёдингер Э. Новые пути в физике
- статьи и речи. М.: Наука, 1971. С. 383-386 3. Cassidy D. Werner Heisenberg, Leben und Werk. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 1995.
- 4. Born M. Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge (Vorläufige Mitteilung) // Zeitschrift für Physik. 1926. B. 37. S. 863-
- 5. Born M. Session III. Interviewed by // American Institute of Physics. Oral History Interviews. 17 October 1962. aip.org/ history-programs/niels-bohr-library/oralhistories/4522-3
- 6. Планк М. Картина мира совре физики // УФН. 1929. Т. 9. С. 407-436.
- 7. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1989.
- 8. Rechenberg H. Werner Heisenberg die Sprache der Atome, Gedruckt in zwei Bänder . Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.
- 9. Von Meyenn K. Eine Entdeckung von ganz außerordentlicher Tragweite. Band 1. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2011.
- 10. Танец электронов. Паули. Спин/ Пер. с итал. М.: Де Агостини, 2015. (Наука. Величайшие теории; вып. 48).
- 11. Schrödinger E. Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen // Annalen der Physik. 1926. Band 79. S. 734-756.
- 12. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики / Пер с англ. В.Н. Покровского. Под ред. Л.И. Пономарева. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.
- 13. Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem (Zweite Mitteilung) // Annalen der Physik. 1926. Vierte Folge Band. 79. S. 489-527...
- 14. Mehra J. Rechenberg H. The Historical Development of Quantum Theory. Vol. 4. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1982.
- 15. Albert Einstein/Arnold Sommerfeld: Briefwechsel / Hrsg. v. A. Hermann. Basel, Stuttgart: Schwabe & Co., 1968.



12 ИЮЛЯ 2022 ГОДА

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> По ссылкам на источники понятно, что речь идет о Дираке.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Всей своей сущностью (лат.).

ежду прочим, мои родные купили телевизор первыми в нашей перенаселенной коммуналке на Сивцевом Вражке. Это было давно, в 1959 году, мне было восемь лет. Экран у телевизора был по тем временам большой, никаких линз не требовалось. Футляр – из настоя-

щего полированного дерева, вес — 28 килограммов, по низу пущено наклонными золотыми буковками: «Знамя» — настоящее изделие, принадлежащее к категории вещей. официально именовавшихся «товарами длительного пользования». Эти товары действительно не ломались, а если и ломались, то подлежали починке. На моей нынешней даче седьмое десятилетие надсад но гудит холодильник «ЗИЛ».

Днем по телевизионному изделию ничего не передавали, а вечером приходили соседи, чинно рассаживались полукольцом за круглым обеденным столом, лампа под оранжевым абажуром с кистями гасла. В экранных всполохах соседские лица казались чужими. Смотрели всё подряд, включая детскую передачу. В таинственной темноте советские добролицые пограничники ловили крючконосых диверсантов. После какого-то особенно страшного шпионского фильма на следующий день я стал носиться с черным пистолетом по квартире и слегка заикаться. По экрану мельтешили ногами и черно-белые футболисты. Сошедшиеся на сером газоне команды одевали в контрастную форму – иначе не отличить. Предупредительный комментатор перед началом встречи разъяснял, какого цвета были футболки на самом деле.

На праздничном концерте дядьки в военной форме с какого-то перепугу плясали как подорванные, тетка в балетной пачке неубедительно изображала умирающего лебедя, бодренький дуэт натужно выдыхал частушки, смысл которых мне был непонятен:

Травопольная система. До чего ты хороша! В поле травы и цветочки, А в амбарах ни шиша!

Смысл был непонятен, но всё равно это был волшебный мир, возмож-

# Про телевизор

Александр Мещеряков

ный только в первые дни творения. Таким же волшебством были и перел<sub>ександр</sub> Мещеряков вые неуклюжие автомобили, и первые хрупкие самолеты, и первые фильмы с нечеловечески проворными человечками...

В ту телевизионную эпоху рекламы не передавали, потому что всякий товар раскупался без всякого напоминания. Роль рекламы выполняли новости; дикторы были такими же неприятными, как и сегодня.

Что ученые ни изобретут, до всего доберутся нехорошие люди. Как я радовался в детстве телевизору! Сколько было заключено поэзии в голубоватом подрагивании экрана! Как я обожал тетю Валю Леонтьеву, болтавшую с Шустриком и Мямликом, как любил чудесные мультики, которые тогда рисовали настоящие художники! Но когда я обзавелся потомством, поэзия уже давно улетучилась, на ее месте обосновались скучные и лживые люди, до которых мне не было дела в детстве. Насмотревшись до одурения телика, моя малолетняя дочь пришла к заключению, что до Великой Октябрьской социалистической революции в России не было колбасы. Сын моих друзей никак не мог поверить родителям, что в Америке есть кинотеатры. Играя со своим сыном в интервью, моя подруга, показывая на плюшевые игрушки, спросила его: «Что вы можете сказать о ваших медведях?» Карапуз важно ответствовал: «Ну что вам сказать? Коллектив у нас хороший,

В общем, я выкинул телевизор на помойку. Он показывает только гадкие новости и сериалы, а сериалы — это всё равно что прерванный половой акт. Никому не посоветую. У меня нет телевизора, но у другихто он есть... Избавившись от телевизора, я лишил себя большей части собеседников, проживающих в огромной стране.

обязательства повышенные».

В середине девяностых годов меня занесло в деревенскую Бурятию. Денег там у людей тогда совсем не водилось, но они не унывали. «Плохо вам в городе, всё покупать надо. А у нас и мясо, и молоко — всё свое. Знаешь, отчего у нас зубы такие белые? Оттого что мы чеснока едим много». В общем, счастливые люди. Мяса и молока там и вправду было в избытке: коровы гуляли по деревне, забредали в не посещаемый людьми общественный сортир, ложились там, спасаясь от жгучего степного солнца.

Но людские мечты о культурной жизни всё равно никуда не делись. Некоторым осуществить мечту удавалось. «Мой "Самсунг" на четырех ногах и с рогами», - сказал мне довольный собой селянин, имея в виду, что совершил удачную сделку: корову продал, а на вырученные деньги телевизор с «видиком» купил. «Теперь все соседи ко мне ходят – даже краска на полу облупилась». - «А что смотрите-то?» - «Как что? "Богатые тоже плачут". А там 244 серии, до зимы хватит. Сам-то смотрел?» Получив отрицательный ответ, поглядел на меня сверху вниз, хотя и был ниже ростом. А тетрадок и книжек детишкам не покупал: «Баловство одно».

В жизни некоторые телевизионные особы еще неприятнее, чем на экране. Вот пригласили меня на РЕН-ТВ рассказать про гейш - для фильма, который они тогда варганили. Я сдуру и пошел. Допрашивала меня некая Аня - коломенская верста с наглыми коленками. «А эти ваши гейши вмешивались в политику?» - «Нет, не вмешивались». - «А любовники дарили им бриллианты?» – «Нет, не дарили, потому что в Японии никаких бриллиантов не было». Тут Верста вскочила от возмущения со стула: «Неужели японцы так скучно жили? Наверное, вы не до конца наш предмет изучили!» В ответ на это я спросил, отчего у них в студии так грязно. Голос подал нечесаный оператор: «Не волнуйся, у нас свет так поставлен, что на экране грязи не видно». – «А самим не противно?» - «Не-а».

Получив свою долю отрицательных эмоций от скучнейшего рассказа про гейш, моего напарника Верста строго предупредила: «Только побольше мракобесия, прошу вас!» Он рассказывал про историю японского императорского дома. В результате его академическую речь перекроили так, что получилось: эти самые императоры – пришельцы из космоса.

В ту же приблизительно пору прекрасный журнал «Отечественные записки» сделал спецномер, посвященный массовому отказу современников от научной картины мира. Тираж — 600 экземпляров. А у РЕН-ТВ зрителей - миллионы. Мракобесие знает ответы на все вопросы. А наука — не знает. Жить с такой картиной мира в душе весьма некомфортно: наука не обещает бессмертия, не обещает и чуда. А человеку без чуда жить скучно. Нынешний зритель лежит на диване и требует от телевизора всё больше мельтешения, судорог и конвульсий. «Отечественные записки» прекратили свое существование, а РЕН-ТВ чувствует себя прекрасно.

На дачу ко мне какие только телевизионные каналы не приезжали! Неизменно снимали на фоне развесистого хрена, похожего на тропическое растение. Неизменно в кадр попадала только верхняя часть туловища – мои дачные штаны пообтрепались. Но на «картинке» я выглядел вполне сносно. Снятый с нужного ракурса яблоневый цвет ненавязчиво напоминал о сакуре.

На телевизионном свете всё зависит от мастерства оператора. Ну и, конечно, от невежества доброго зрителя, которое входит в правила этой игры.

Огромная телевизионная фабрика. Многолюдье; снимают днем и ночью. Плексигласовые дворцы, раскрашенные лица, немыслимые платья; глаза, налившиеся неживым светом. Рядом с телефабрикой — обшарпанные цеха остановившихся заводов, в которых торгуют разъезжающимся по швам китайским шмотьем.

Перед входом на фабрику неопрятная нищенка сидит на ветоши, расстеленной на асфальте. Только что закончившие съемку прилично одетые неприятные молодые люди бросили нищенке в пластиковый стаканчик гривенник. Нищенка забрызгала слюной, закричала, что они — суки жадные. Тогда самый неприятный сказал: «Не нравится? Тогда отдай обратно». И она запустила гривенником в его сторону. Молодые люди засмеялись и ушли, оставив за собой выдержанный запах румян. Гривенник поднимать не стали. А нищенка осталась сидеть на своей ветоши. Я подал ей купюру. Она пристально посмотрела на меня. Удовлетворенно прошамкала: «Щас ишо ничаво, в войну хуже было». Интересно, в какой роли снимались прилично одетые молодые люди?

В своем энергичном сочинении против еретиков Иосиф Волоцкий называет их, в частности, «змеями тьмоголовыми» и «скверноплевелосеятелями» (именно так, в одно слово). Куда уж до него нашим телевизионщикам, обвиняющим мир в политике двойных стандартов, ругающимся скучными заемными словами: «дезинформаторы», «фальсификаторы», «педофилы», «трансгендеры»... Куда им – семинариев не кончали.

Иосиф Волоцкий относился к «змеям», то есть драконам, с ненавистью. А мне вот их даже жалко. Ведь если голов много, всегда какая-нибудь да болит. Оттого они такие злые. Это ж понимать надо.

В телевизоре человек естественный выглядит неестественно. Поэтому ему делают грим — как покойнику. А телевизионные люди — с пластическими операциями, мышцы лица неподвижные. Вот уж кто и вправду похож на раскрашенную мумию.

Вот что мне удивительно: на изображение любовных сцен по телевизору запретов больше, чем на показ кровавых убийств. И трупов там больше, чем обнаженки. Значит ли это, что убийство - грех менее тяжкий, чем страстные объятия влюбленных? Подбираясь к Останкинской башне, я много раз задавал ей этот вопрос. В ответ она грозила мне кулаком.

#### живой язык

овая большая алия (ивр. עלייה 'подъем', 'восхождение', 'возвышение' — т. е. буквально возвращение на родину, переселение) в Израиль, связанная с военными действиями на Украине, вызвала к жизни старинное обсуждение: откуда взялось слово халява? Дело в том. что на иврите, который переселенцам с родным русским языком приходится срочно учить, молоко называется халав (חלב). Тем, кто впервые сталкивается с этим словом, оно кажется похожим на привычное русскому слуху слово халява — нечто легко полученное, доставшееся бесплатно, на дармовщинку. Отсюда возникает очень распространенная народная этимология: мол, халява потому и на зывается халявой, что так называли бесплатное молоко, которое якобы раздавали на непонятных условиях и непонятно кому в еврейских местечках в дореволюционной России.

Человеку вообще свойственно пытаться объяснить происхождение слова: толковать о его истинном смысле исходя из звучания и толковать фо-

# На халяву и уксус сладкий

нетику исходя из смысла. Отсюда все эти знаменитые примеры вроде спинжака (пиджак — это спинжак, то есть то, что носят на спине) или зонтика (зонтик — это маленький зонт, хотя на самом деле, конечно, переосмысленное заимствование из голландского zonnedoek, 'защита от солнца'). Но не будем повторяться: о народных этимологиях написано немало, достаточно сослаться на знаменитый текст академика А.А. Зализняка «О профессиональной и любительской лингвистике» [1]: «Основное содержание любительской лингвистики — рассуждения о происхождении слов...» Однако же, продолжая цитировать Зализняка, «между словами, сходными внешне, может не быть никакой связи. Любитель не осознаёт того, что случаи близкого сходства (или даже совпадения) внешних оболочек каких-то слов из разных языков не составля-

ют ничего исключительного, особенно

если слова короткие. Напротив, с точки зрения теории вероятностей было бы крайне удивительно, если бы их не существовало. Ведь число фонем в любом языке сравнительно невелико - несколько де-СЯТКОВ».

Вот и с халявой произошло примерно то же самое. Несмотря на то что фонетическое сходство слов халав в иврите и халява в русском языке бросается в глаза и несмотря на то что ашкенази и русские сто лет назад жили на одной территории и много общались между собой, ничего общего между этими словами нет. Для начала, евреи в Восточной Европе говорили на идише, а не на иврите, и молоко звучало в их устах как мильх. Вряд ли с русскими они стали бы говорить словами того языка, на котором были написаны их священные книги.

Здесь нужно напомнить, что иврит – уникальный лингвистический эксперимент по восстановлению мертвого,

книжного языка, не имевшего живых носителей до конца XIX века. Совершенно удивителен тот факт, что столетие назад иврит снова зазвучал, превратился в полноценное средство коммуника-

ции. И разумеется, как именно произносить слова, которые ранее существовали только написанными, зависело от носителя определенного диалекта. Так вот, на ашкеназском иврите молоко произносилось скорее как холэв, а халяв — произношение сефардов, так молоко звучало в речи тех, кто жил в Африке и на Ближнем Востоке, но не в Восточной Европе.

Откуда же взялась халява? Словарь Фасмера [2] напоминает, ссылаясь на материалы В. Даля, что в южных и западных русских диалектах и в укра-

инском языке бытовало слово холява, которое означало 'голенище сапога', с переносными значениями 'стеклянный пузырь, 'стеклянная заготовка», 'стеклянная бутыль' В польском языке зафиксировано слово cholewa 'верхняя часть сапога, в древнечешском cholava кусок материала для обвязывания, в верхнелужицком — kholowa (н.-луж. chólowa) 'штанина, чулок'.

Возможно, слово халява связано с тем, что на ярмарках за сапогами добры молодцы лазили на гладкие столбы: ценные призы привязывали к верхушке столба — кто залез, тот и получал их на дармовщинку. А возможно, дело было в том, что именно за голенише карманники засовывали украденные мелкие предметы. А вот бесплатное молоко за голенише точно никто не заливал.

#### Мария Молина

1. Зализняк А.А. О профессиональной и любительской лингвистике. elementy.ru/nauchno-populyarnaya\_ biblioteka/430720/O\_professionalnoy\_i\_ lyubitelskoy\_lingvistike

2. Цит. по: starling.rinet.ru (bit.ly/3yuTMyp)



#### «Троицкий вариант»

Учредитель — **ООО «Тровант»** Главный редактор — Б. Е. Штерн Зам. главного редактора — Илья Мирмов, Михаил Гельфанд Выпускающие редакторы - Алексей Огнёв и Мария Молина Редсовет: Юрий Баевский, Максим Борисов, Алексей Иванов, Андрей Калиничев, Алексей Огнёв, Андрей Цатурян Верстка — Глеб Позднев. Корректура — Мария Янбулат

**Адрес редакции и издательства:** 142191, г. Москва, г. Троицк., м-н «В», д. 52;

телефон: +7 910 432 3200 (с 10 до 18), **e-mail:** info@trv-science.ru, **интернет-сайт:** trv-science.ru.

Использование материалов газеты «Троицкий вариант» возможно только при указании ссылки на источник публикации. Газета зарегистрирована 19.09.2008 в Московском территориальном управлении Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций ПИ № ФС77-33719.